

Luzolo João Sebastião Garcia

2º Ciclo de estudos em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento  
do Território

Modificações recentes no uso do solo e na dinâmica fluvial em Luanda: a  
bacia hidrográfica da ribeira da Samba

2013

Orientador: Professor Doutor Carlos Bateira

Coorientador: Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes

Classificação final:

Dissertação:

Versão definitiva



## Agradecimentos

Quero agradecer, primeiramente, a Jeová Deus, pela dádiva de vida.

Ao Professor Carlos Bateira, pela capacidade e muita paciência que dispensou na orientação deste trabalho.

Ao professor António Alberto Teixeira Gomes, pela paciência, pela coorientação e acima de tudo pelo privilégio de poder trabalhar ao seu lado.

Aos colegas de turma, que sempre estiveram prontos para ajudar. Foi uma turma de Cinco estrelas.

Ao Pedro Gonçalves que esteve sempre pronto em me ajudar com as dificuldades que tive com o programa ArcGis. Valeu.

Ao Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola pela cedência de dados (cartas militares de Luanda, a escala 1: 25 000).

Ao Projeto Erasmus Mundus ACP I pela concessão da bolsa de estudo. Este agradecimento colocado assim de maneira tão seca, não reflete a importância de se fazer um curso de mestrado. Quero deixar claro que é MUITO obrigado pela bolsa.

A Rita Dala, Naira de Sousa, Teodora Leite e Arcádio Roberto pelo apoio, simpatia, carinho e companherismo.

A Sara Cuje, esposa do Bom Moço, pela ajuda prestada na correção da dissertação.

Ao Sr. Ernesto e Sra Beatriz que me acolheram na sua residência durante a minha estadia na cidade do Porto.

Aos meus amigos, familiares e aos meus pais, que com seus olhares puros e cheios de amor dão sentido a minha vida. A eles (meus pais) dedico esta dissertação.

## Resumo

Luanda sofreu nas últimas décadas uma expansão urbana contínua e desordenada, tendo a comprometer o desenvolvimento económico e com efeitos direto sobre a vida da população. De forma a perceber esta questão, decidiu-se analisar a expansão urbana da província de Luanda, entre o período de 2000 a 2008, usando técnicas de deteção remota. Resultados da técnica empregue indicaram que no período em análise a mancha urbana de Luanda cresceu, passando de 87,79 km<sup>2</sup> em 2000 para 174,73 km<sup>2</sup> em 2008. Como era de esperar, enquanto cresceu a área urbana, a área não urbana (solo expostos, vegetação natural e área agrícola) diminuiu, passando de 2283,3 km<sup>2</sup> em 2000 para 1912,94 km<sup>2</sup> em 2008. Por fim, com objetivo de analisar os motivos das ocorrências de cheias na área de estudo, fez-se a caracterização morfométrica da bacia da Samba com base ao Modelo Digital de Elevação. Observou-se que a bacia possui área total de 276,765 km<sup>2</sup>, perímetro de 84,498 km, com comprimento do canal principal de 39,658 km, e rede de drenagem de 4<sup>a</sup> ordem, densidade de drenagem de 0,8882 km/km<sup>2</sup>; Coeficiente de compactidade de 1,422, Índice de circularidade de 0,729 e Fator de forma de 0,176, valores esses que não determinam a propensão de cheias na área, mas sim o fraco declive, padrão de drenagem dendrítico e o crescimento urbano. Estas informações são importantes para gerir o planeamento da província proporcionando o crescimento ordenado dela de modo a evitar os constrangimentos resultantes de um crescimento desordenado, como por exemplo, construção em lugares propensos a inundações.

**Palavras-chave:** Expansão urbana, Cheias, Bacia hidrográfica, Caracterização Morfométrica

## Abstract

In the last decades, the city of Luanda has suffered a continuous and disorderly expansion, a factor that compromised economical development and had a direct impact on its population. Based upon this fact, we have decided to analyze the urban expansion of the city, between the period of 2000 to 2008, using remote sensing techniques. Results indicated that the technique employed in the period the urban Luanda grew from 87.79 km<sup>2</sup> in 2000 to 174.73 km<sup>2</sup> in 2008. As expected, while the urban area grew, the non urban area (exposed soil, natural vegetation and agricultural area) decreased, from 2283.3 km<sup>2</sup> in 2000 to 1912.94 km<sup>2</sup> in 2008. Finally, in order to analyze the reasons of occurrence of floods in the study area, it was done the morphometric characterization of the basin of the Samba, based on Digital Elevation Model. It was observed that the basin has a total area of 276.765 km<sup>2</sup>, perimeter 84.498 km, length of the main channel of 39.658 km and drainage network 4th order, drainage density of 0.8882 km/km<sup>2</sup>; coefficient of compactness 1.422, index circularity 0.729 and shape factor of 0.176, these values don't determine the propensity of flooding in the area, but the weak slope, dendritic drainage pattern and urban growth.

**Keywords:** Urban expansion, Floods, Watershed, Morphometric characterization

## Índice Geral

|  |     |
|--|-----|
| Agradecimentos .....   | III |
| Resumo.....  | IV  |
| Abstract .....   | IV  |
| Índice de Tabelas .....  | VII |
| Índice de Figuras.....   | VII |
| 1. Introdução .....  | 1   |
| 1.1. Objetivos do trabalho. ....   | 2   |
| 1.2. Estrutura do trabalho. ....   | 3   |
| 1.3. Localização e caracterização da área de estudo. ....                                      | 5   |
| 1.4. Registo histórico de inundações em Luanda. ....   | 9   |
| 1.5. Leis e processos informais de acesso à terra em Angola. Legislação e política de terras.. | 14  |
| 1.6. Plano de intervenção para o crescimento acelerado da cidade de Luanda. ....               | 16  |
| 2. Princípios básicos de deteção remota. ....  | 19  |
| 2.1. Considerações gerais e definições de deteção remota. ....                                 | 19  |
| 2.2. O espectro eletromagnético.....   | 21  |
| 2.3. Resolução dos sensores remotos. ....  | 22  |
| 2.3.1. Resolução espacial.....   | 23  |
| 2.3.2. Resolução espectral .....   | 24  |
| 2.3.3. Resolução radiométrica.....   | 24  |
| 2.3.4. Resolução temporal. ....  | 25  |
| 3. Análise de bacias hidrográficas.....  | 27  |
| 3.1. As bacias e os padrões de drenagem. ....  | 27  |
| 3.2. Hierarquia fluvial. ....  | 28  |
| 3.3. Análise linear da rede hidrográfica.....  | 31  |
| 3.4. Análise areal das bacias hidrográficas. ....  | 32  |
| 3.5. Método de pré determinação dos caudais de ponta de cheia.....                             | 35  |
| 4. Metodologia. ....   | 39  |
| 4.1. Análise da expansão urbana de Luanda no período de 2000 a 2008. ....                      | 39  |
| 4.1.1. Índice Normalizado de vegetação (NDVI).....   | 41  |
| 4.2. Análise Morfométrica da bacia hidrográfica da Samba.....                                  | 44  |
| 4.2.1. Morfometria da bacia e sub-bacias hidrográficas da Samba. ....                          | 45  |
| 5. Resultados e discussões. ....   | 47  |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.1.   | Análise do uso do solo.....                      | 47 |
| 5.2.   | Morfometria da bacia hidrográfica da Samba. .... | 51 |
| 5.2.1. | Morfometria das sub-bacias da Samba. ....        | 56 |
| 6.     | Conclusões.....                                  | 58 |
| 6.1.   | Limitações e sugestões .....                     | 61 |
|        | Bibliografia.....                                | 62 |
|        | Anexos .....                                     | 65 |

## Índice de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1-Algumas fórmulas empíricas para cálculo de caudais ponta de cheias. Fonte: adaptado de Lencastre & Franco, (2010) ..... | 37 |
| Tabela 2-Caraterísticas das bandas espectrais do sensor TM. Fonte: (Silva & Francisco, 2002)..                                   | 39 |
| Tabela 3-Caraterísticas das bandas espectrais do sensor ETM+. Fonte: (Silva & Francisco, 2002) .....                             | 40 |
| Tabela 4- Dados de base.....   | 44 |
| Tabela 5- Características morfométricas obtidas no estudo da bacia e sub-bacias hidrográficas..                                  | 46 |
| Tabela 6-Luanda: área das classes de uso do solo em 14-06-2000. Elaboração: Autor .....  | 47 |
| Tabela 7-Luanda: área das classes de uso do solo em 01-08-2008. Elaboração: Autor .....  | 48 |
| Tabela 8-Analise estatística do NDVI nas imagens LandSat ETM+ e TM.....  | 51 |
| Tabela 9- Valores das caraterísticas morfométricas obtidas no estudo da bacia .....  | 51 |
| Tabela 10-Segmentos dos canais da bacia por ordem hierárquica.....   | 53 |
| Tabela 11-Classes de declive da bacia da Samba, adaptação de Tonello (2006) .....  | 55 |
| Tabela 12- Resumo dos tempos de concentração .....   | 56 |
| Tabela 13-Valores das caraterísticas morfométricas das sub-bacias da bacia da Samba .....  | 56 |
| Tabela 14-Declive médio dos canais principais nas sub-bacias da bacia da Samba .....   | 57 |
| Tabela 15-Evolução do uso do solo entre 2000 e 2008.....   | 59 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-Fluxo do trabalho.....  | 4  |
| Figura 2-Imagens da província de Luanda.- Fonte:<br><a href="http://paginaglobal.blogspot.pt/2011/07/angola-provincia-de-luanda-passa-de.html">http://paginaglobal.blogspot.pt/2011/07/angola-provincia-de-luanda-passa-de.html</a> ;<br><a href="http://www.ethiopianairlines.com/en/destinations/angola/flights-to-luanda.aspx">http://www.ethiopianairlines.com/en/destinations/angola/flights-to-luanda.aspx</a> ..... | 5  |
| Figura 3-Localização geográfica da área de estudo com base numa imagem LandSat, composição RGB 543.....  | 7  |
| Figura 4-Mapa Hipsométrico da área de estudo obtido a partir SRTM. ....  | 8  |
| Figura 5-Vista aérea sobre o tecido urbano típico das áreas de musseques na periferia de Luanda. Fonte: Google Earth 2013 .....  | 8  |
| Figura 6-Localização da bacia hidrográfica da ribeira da Samba .....   | 9  |
| Figura 7-Histograma de precipitações anuais registradas na estação termo-pluviométrica “Cidade Alta” no período de 1961 – 2000 Fonte: Miguel et al. (2002).....  | 11 |
| Figura 8-Foto de inundação em Luanda, 5 - 6/04/2013 .....  | 12 |
| Figura 9-Fotos de Inundação em Luanda, 1969 .....  | 13 |
| Figura 10-Componentes do processo de deteção remota por satélite. A- Fonte de energia (Sol); B - Atmosfera; C- Objetos; D- Satélite; E- Estação de receção e processamento; F- Processamento e interpretação; G- Planeamento e Gestão. Fonte: García et al. 2012 .....   | 21 |
| Figura 11-Espectro eletromagnético da radiação solar. Fonte: adaptado de Sabins (1997) e Brum da Silveira (2002).....  | 22 |
| Figura 12-Imagens com distinta resolução espacial: 2 m/pixel (A) e 0.5 m/pixel (B). Fonte: SATELMAC .....  | 24 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 13- Resolução radiométrica. A esquerda, imagem original captada por um satélite .....   | 25 |
| Figura 14- Principais tipos de padrões de drenagem. Fonte: (Christofolletti, 1980) .....   | 27 |
| Figura 15- Procedimentos para determinar a ordem ou hierarquia das bacias, conforme Horton (A) e Strahler (B). Forma para se determinar a magnitude das redes de drenagem, conforme Scheidegger (C) e Shreve (D). Fonte: Christofolletti (1980)..... | 29 |
| Figura 16- Representação dos diversos critérios utilizados para determinar o comprimento da bacia de drenagem .....  | 33 |
| Figura 17- A mensuração da forma de bacias hidrográfica. ....  | 34 |
| Figura 18-Fluxograma das etapas para identificação das áreas de expansão, adaptado de Lacerda e Santos (2010).....   | 41 |
| Figura 19-Model Builder para criar NDVI.....   | 43 |
| Figura 20-Métodologia para criar um Model Builder. Fonte: Silva, (2013) .....  | 43 |
| Figura 21-Esquema metodológico para caraterização da Bacia hidrográfica.....   | 45 |
| Figura 22-Sub-bacias e Bacia hidrográfica da ribeira da Samba. ....  | 46 |
| Figura 23-Luanda: Uso do solo em 14-06-2000. ....  | 47 |
| Figura 24-Luanda: Uso do solo em 01-08-2008. ....  | 48 |
| Figura 25-Área e tipo de uso do solo entre 2000 e 2008.....  | 49 |
| Figura 26-NDVI da imagem LandaSat 7 ETM + .....  | 50 |
| Figura 27-NDVI da imagem LandaSat 5 TM.....  | 50 |
| Figura 28-Hierarquia fluvial da Bacia da Samba.....  | 52 |
| Figura 29-Hipsometria da bacia da ribeira da Samba .....   | 54 |
| Figura 30-Perfil longitudinal do canal principal da bacia da Samba, da nascente a foz. ....  | 54 |
| Figura 31-Declives da bacia da ribeira da Samba.....   | 55 |
| Figura 32-Uso do solo 2000 da bacia da Samba.....  | 59 |
| Figura 33-Uso do solo 2008 da bacia da Samba.....  | 60 |
| Figura 34-Imagens bruta dos Sensores ETM+ da área de estudo .....  | 66 |
| Figura 35-Imagens bruta dos Sensores TM da área de estudo .....  | 67 |
| Figura 36-Composição colorida 543RGB (Sensor ETM+) da área de estudo.....  | 68 |
| Figura 37-Composição colorida 543 RGB (Sensor TM) da área de estudo. ....  | 69 |



## 1. Introdução.

A guerra civil que assolou Angola durante quase trinta anos (1975-2002) provocou o êxodo das populações rurais para as áreas urbanas, na procura de segurança e melhores condições de vida, causando muitas transformações espaciais, decisivas no processo de reestruturação da mancha urbana das cidades angolanas. Entre estas, a ocupação (ordenada e desordenada) da mancha urbana foi responsável por novos eixos de crescimento urbano, sem que o governo local conseguisse estabelecer uma ordem que organizasse a ocupação do solo.

O processo de desenvolvimento urbano, ocorrendo de forma não controlada, tende a comprometer o desenvolvimento económico com efeitos diretos sobre a degradação do meio ambiente e qualidade de vida das populações (*Zahn, 1983*). Este processo assume especial incidência na província de Luanda.

O processo de expansão urbana, envolve a dispersão espacial de grupos de baixo e médio rendimento. Esta dinâmica implica a ocupação das áreas periféricas e periurbanas, com fortes implicações sociais e ambientais. Entre os impactos sócio ambientais deste processo, estão o aumento do trânsito e a poluição do ar. A expansão destas áreas também se traduz pela ausência de saneamento básico, principalmente redes de saneamento, a poluição de rios e a degradação ambiental (*Torres et al., 2007*).

Foster (1985) afirma que a deteção remota surge como uma técnica bastante eficiente para avaliar o processo de crescimento do espaço urbano. Esta técnica, aliada a outras, permite monitorar, além do crescimento urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão (urbana).

A expansão desordenada da urbanização pelas bacias hidrográficas pode revelar-se muito problemática, particularmente pela ocupação indevida das planícies de inundação, como é o caso de Luanda, resultando em modificações significativas na cobertura do solo incrementando a sua impermeabilização e a ocupação do leito de inundação natural. Uma resposta a esta agressão ambiental reside na ocorrência de cheias e inundações, como resultante da alteração da relação natural entre a precipitação e o escoamento natural das águas pluviais. O estudo dos processos e padrões da dinâmica espacial constitui atualmente um desafio para a ciência. Segundo Christofolletti (1980), o estudo e das características físicas de uma bacia hidrográfica tem aplicação nas seguintes áreas:

escolha de fontes para abastecimento de água, projetos de drenagem, regularização e controlo de inundações, controlo da poluição, preservação do meio ambiente e preservação e desenvolvimento da vida aquática. Segundo Ferreira (1997), os Sistemas de Informação Geográfica podem ser considerados um instrumento para mapear e indicar respostas as várias questões sobre planeamento urbano e regional, meio rural e levantamento dos recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando no planeamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas.

### **1.1. Objetivos do trabalho.**

A região de Luanda conheceu uma forte pressão urbana, especialmente a partir de 1975, traduzida, entre outros aspetos, pelo grande aumento da área construída (e, dentro desta, das áreas urbanas). O (des) ordenamento do território daí resultante refletiu-se, não só no agravamento da perigosidade potencial das cheias, motivada pelo aumento do escoamento superficial e da carga sólida transportada (destruição do coberto vegetal, aumento de erosão das vertentes, impermeabilização dos solos), mas também no incremento da vulnerabilidade decorrente da ocupação indevida dos leitos de cheia e, por vezes, dos leitos menores dos cursos de água.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho são:

- i) analisar e avaliar a evolução do uso do solo, com especial enfoque na mancha urbana da província de Luanda, entre o período de 2000 a 2008, utilizando dados e técnicas de deteção remota;
- ii) compreender a influência que a hidrografia exerce sobre a ocorrência de cheias na bacia hidrográfica da Ribeira da Samba.

## **1.2. Estrutura do trabalho.**

O trabalho aqui apresentado, encontra-se desenvolvido em cinco capítulos estruturados em três fases (Figura 1).

O primeiro capítulo, de carácter introdutório, apresenta um enquadramento do tema, os principais objetivos da dissertação, a descrição da área de estudo e um breve histórico das inundações na área de estudo. No segundo capítulo é apresentada uma reflexão teórica, centrada nos princípios básicos do funcionamento de deteção remota.

No capítulo três, faz-se uma análise genérica da bacia hidrográfica, salientando-se os padrões de drenagem, os aspetos lineares e areais. Também é apresentada uma reflexão teórica sobre os métodos de pré-determinação dos caudais das cheias.

No quarto e quinto capítulo são retratadas as operações, as análises efetuadas sobre os dados utilizados e as opções metodológicas assumidas. São apresentados e analisados de forma comparativa os resultados obtidos para o primeiro objetivo do trabalho. Ao longo destas duas últimas partes, foram utilizadas diversas técnicas e softwares. Por fim, para concluir o trabalho, procurou-se relacionar as análises e resultados obtidos nos dois objetivos.

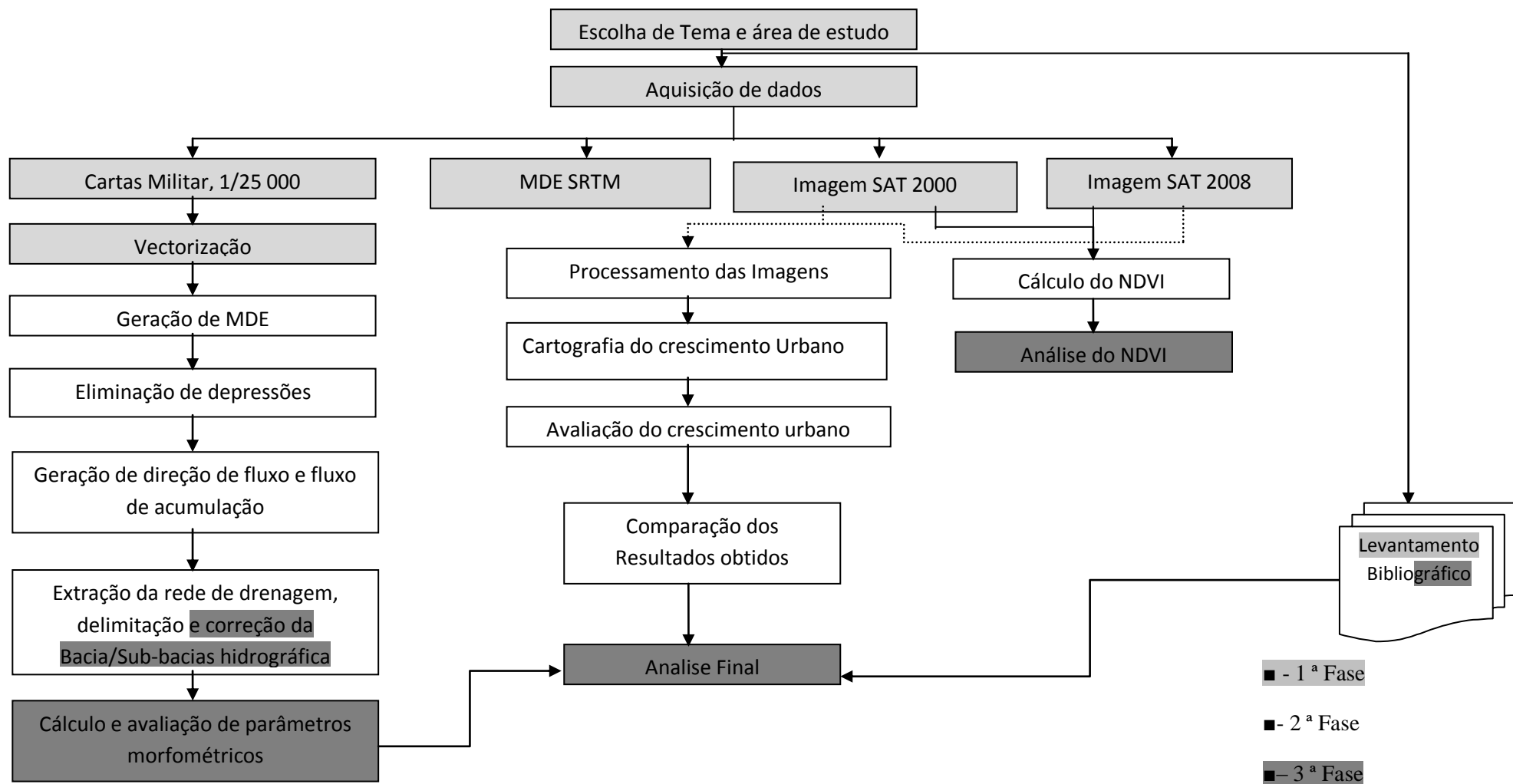


Figura 1-Fluxo do trabalho

### 1.3. Localização e caracterização da área de estudo.

Luanda é a capital e a maior cidade de Angola, localizando-se entre as latitudes 8°40' e 9°20' Sul e longitudes 12°59' e 13°38' Este. Esta cidade situa-se no litoral, limitada pela província do Bengo e a oeste, pelo oceano Atlântico. A província de Luanda tem uma superfície de 2 416 km<sup>2</sup>. Comporta uma baía e uma restinga, a ilha de Luanda. Os rios Kwanza e Bengo são a base dos recursos hídricos. É também a província de Angola mais industrializada e com maior crescimento económico, por ter sofrido pouco os efeitos da guerra civil (de 1975- 2002) e também por ter beneficiado do êxodo das populações a partir das suas áreas de origem (Figura 2).



Figura 2-Imagens da província de Luanda.- Fonte:

<http://paginaglobal.blogspot.pt/2011/07/angola-provincia-de-luanda-passa-de.html>;  
<http://www.ethiopianairlines.com/en/destinations/angola/flights-to-luanda.aspx>.

Nove municípios – Cacuaco, Cazenga, Ingombota, Kilamba Kiaxi, Maianga, Rangel, Samba, Sambizanga e Viana – constituem a província de Luanda (Figura 3). Com a reforma administrativa de 2011 – Lei n.º 29/11 de setembro - que altera a divisão política administrativa das províncias de Luanda e Bengo – a província viu alargada a sua área para 18 826 km<sup>2</sup> e passa a contar com sete municípios: Cacuaco, Belas, Cazenga, Ícolo e Bengo, Luanda, Quiçama e Viana.

A província é semiárida e possui um clima tropical quente e seco. A temperatura média anual situa-se entre os 25°C e os 26°C, com máximo de 27°C, coincidindo com o período das chuvas. Junho, Julho e Agosto são os meses mais frescos. O clima da região é influenciado pela proximidade do mar – corrente de Benguela – e, apesar de não ser demasiado quente, é húmido.

Do ponto de vista geomorfológico, segundo Filomena Malva (1999), Luanda está situada na unidade designada por faixa litoral, correspondendo a uma bacia sedimentar que data do Mesocenozóico, estendendo-se por toda a costa, e alternando arribas vivas com praias e restingas de maior ou menor desenvolvimento. O aspeto curvilíneo da cidade é suportado por um planalto que a configura como “cidade litoral” que, no sentido norte, desde a barra do morro com cerca de 40 m de altitude, forma um acentuado arco escarpado, protegido por uma restinga que permitiu o crescimento do aglomerado, arrumado, nos finais do século XVII, para uma baía onde aportavam embarcações de maior ou menor calado. O estudo topográfico da cidade faz-nos perceber a vulnerabilidade das construções na zona litoral e planáltica, dado que o solo, no primeiro espaço, é constituído por calcários, argilas e margas com faixas ferruginosas estreitas e sobrepostas por sedimentos mais grosseiros de areias vermelhas, com um solo pouco fértil.

A constituição destes solos faz-se com fauna fossilífera senoniana, sobre areias finas e brancas, essencialmente compostas por grãos de quartzo, que se sobrepõem às plataformas de rochas porosas preenchidas com cimento calcário que a erosão verticalizou (Amaral, 1968).

Na parte norte da enseada, a arriba acama-se por areias vermelhas fossilizadas sobre a base de arenitos vermelhos com a existência de vegetação de savana misturada com arbustos espinhosos, tufos de ervas secas, matebeiras e imbondeiros (ou adansónia) que um clima tropical seco confere. A Figura 4 apresenta o mapa hipsométrico da área de estudo.

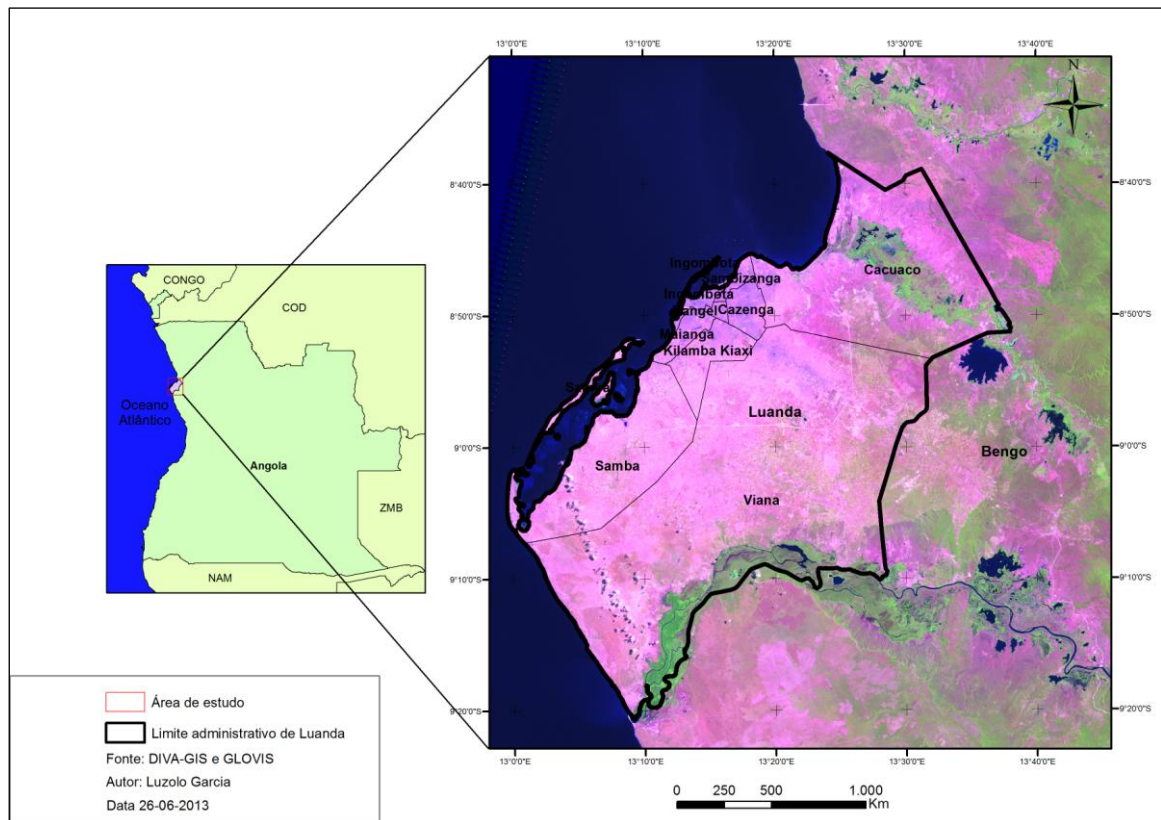


Figura 3-Localização geográfica da área de estudo com base numa imagem LandSat, composição RGB 543.

O ambiente urbano edificado de Luanda é constituído por duas partes distintas: a cidade formal, estruturada no tempo colonial com uma rede viária planeada e suas respetivas infraestruturas urbanas e os musseques (Figura 5) com habitações na sua maioria construídas em talhões, atingindo na época colonial densidades entre 400 e 500 habitantes por hectare.



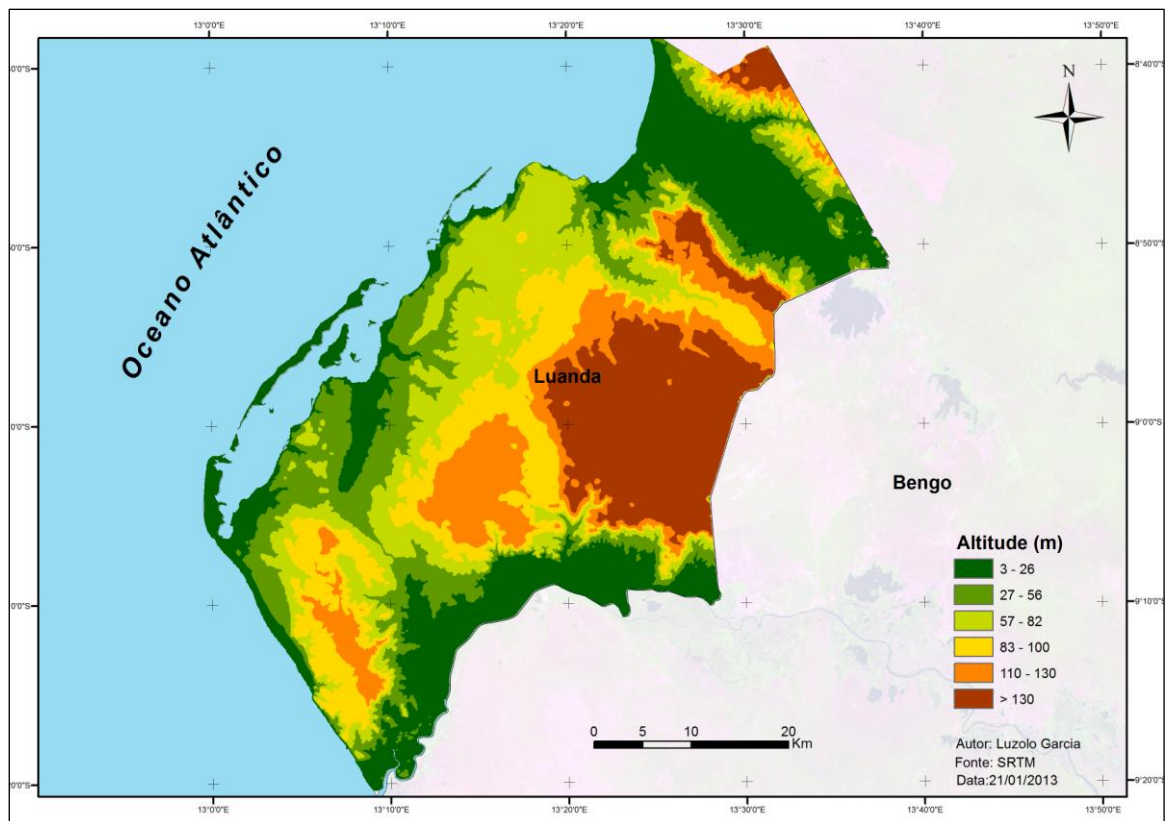


Figura 4-Mapa Hipsométrico da área de estudo obtido a partir SRTM¹.



Figura 5-Vista aérea sobre o tecido urbano típico das áreas de musseques na periferia de Luanda. Fonte: Google Earth 2013

<sup>1</sup> Shuttle Radar Topography Mission



A bacia hidrográfica da ribeira da Samba localiza-se na costa da província de Luanda compreendida entre os paralelos 8°50' S e 9°00' S e entre os meridianos 13°20' E e 13°20' E (Figura 6). A bacia hidrográfica em questão, insere-se no município da Samba (atual Belas), Kilamba xiáxi e Viana, tendo também afluentes nos municípios do Cazenga, Maianga e Rangel. A rede de drenagem da bacia da Samba compõe um território com uma área aproximada de 276,765 km<sup>2</sup>. A bacia da Samba faz o escoamento das águas de modo contínuo até ao mar, tratando-se esta de uma drenagem exorreica (Christofoletti, 1980).

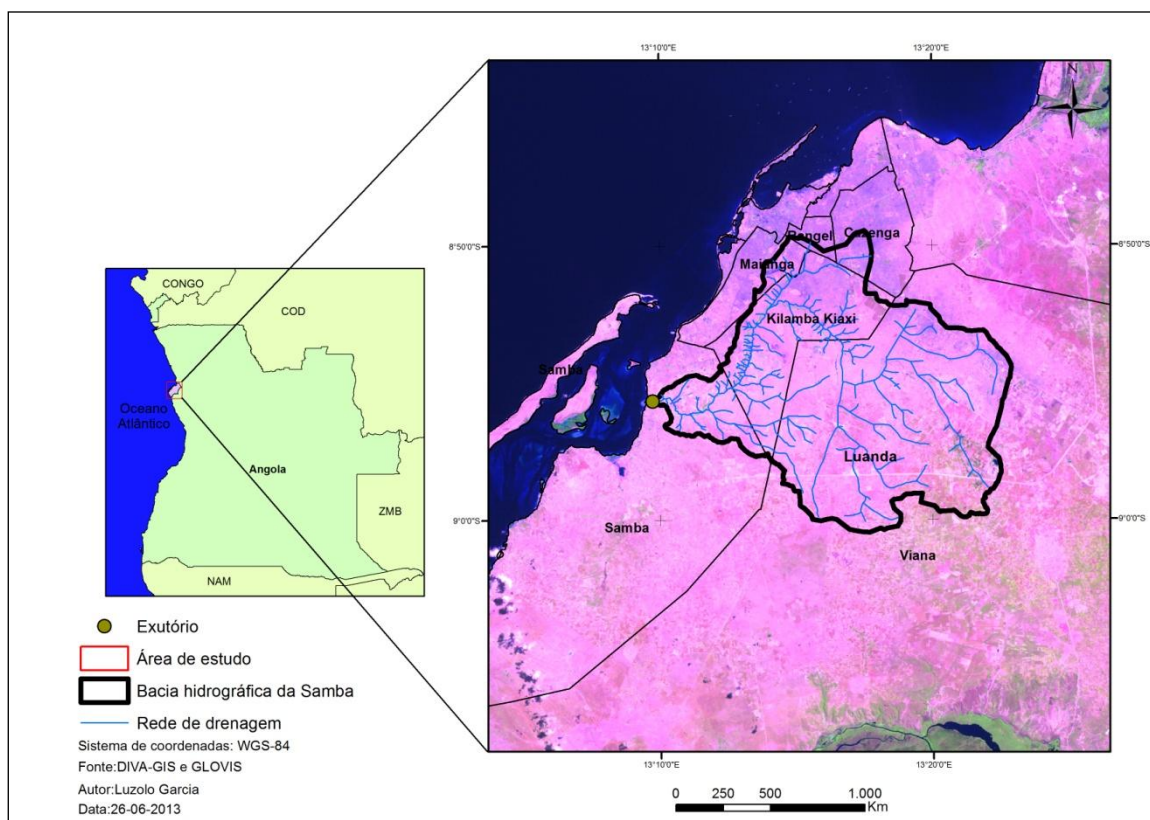


Figura 6-Localização da bacia hidrográfica da ribeira da Samba

#### 1.4. Registo histórico de inundações em Luanda.

Cheias e inundações são eventos que ocorrem naturalmente em todos os ambientes fluviais, sendo importantes na manutenção da dinâmica hidrológica e dos processos geomorfológicos. Trata-se de fenómenos de alta complexidade dado que envolvem toda a

rede de drenagem contribuinte, que é composta por diversos cursos de água com características muito distintas.

Embora as cheias e inundações constituam fenómenos naturais previsíveis, apesar da sua aleatoriedade, podem dar origem a catástrofes naturais se as zonas inundáveis estiverem ocupadas por pessoas e bens.

As cheias são, de facto, um fenómeno hidrológico espetacular. É devido a estes fenómenos que se procede à construção das principais obras hidráulicas, como pontes, barragens e diques marginais, sendo a sua análise e previsão essenciais para a gestão e ordenamento dos terrenos ribeirinhos.

O conceito de cheia está normalmente associado à ocorrência de um valor muito elevado de caudal num curso de água, resultante da ocorrência de precipitação intensa e/ou prolongada. Quando a cheia provoca o transbordamento do leito normal, dá-se a inundação dos terrenos marginais. Apesar dos inúmeros estudos realizados sobre a temática das cheias, não existe uma uniformidade de critérios no que diz respeito à definição do conceito de cheias sendo que há autores que as consideram como fenómenos vulgares, “ (...) decorrentes do carater aleatório dos processos hidrológicos” (A. Lencastre e F. Franco, 1984), enquanto outros as definem como fenómenos “(...) fora de série, de carácter verdadeiramente excecional” (Guilcher, 1979), havendo um conjunto de definições muito distintas entre si (Madeira, 2005). As cheias rápidas são ocasionadas por períodos pluviosos muito intensos e concentração em algumas horas, ocorrendo, sobretudo, em pequenos cursos de água (Zêzere et al., 2006). As cheias progressivas estão relacionadas com a dinâmica do escoamento que se processa na sequência de períodos chuvosos prolongados, tendo a particularidade de poderem não atingir grande intensidade (Costa, 1986, Ramos, 2005).

A principal causa das cheias é a ocorrência de grande quantidade de precipitação sobre a bacia hidrográfica, sob a forma de chuva e aguaceiros, o que origina escoamento superficial e caudais elevados. As características (geomorfológicas) das bacias hidrográficas vão igualmente condicionar o fenómeno das cheias, na medida em que, a permeabilidade e a cobertura vegetal, por exemplo, vão influenciar a quantidade de precipitação que é infiltrada e a que se torna em escoamento superficial, logo, condicionam o tempo de resposta da bacia e de propagação da onda de cheia. Também as

atividades humanas na bacia hidrográfica condicionam de forma intencional ou “descuidada” a ocorrência de cheias e inundações (Madeira, 2005).

O valor da precipitação média em Luanda varia entre os 360 – 380 mm/ano. Na Figura 7 podem observar-se que ocorrem periodicamente chuvas acima da média (Miguel et al., 2002).

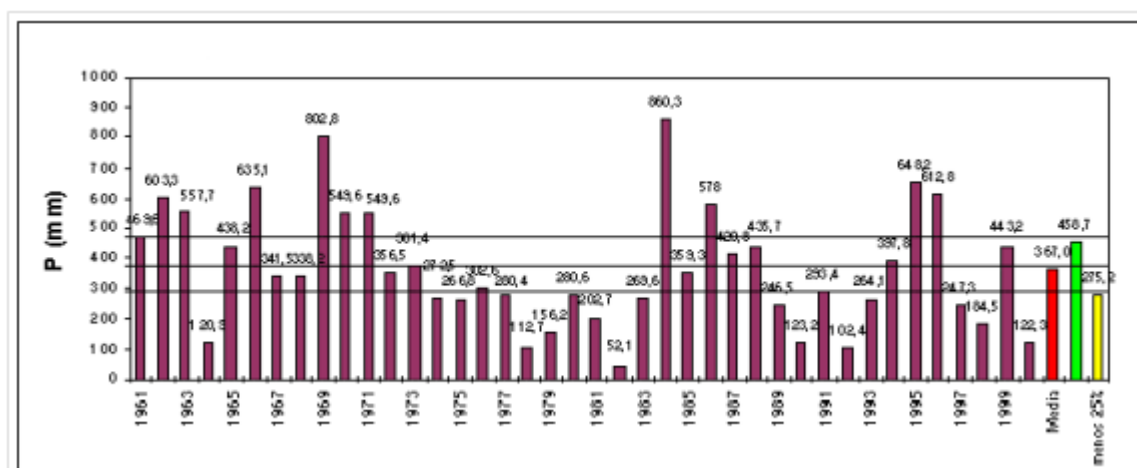


Figura 7-Histograma de precipitações anuais registradas na estação termo-pluviométrica “Cidade Alta” no período de 1961 – 2000 Fonte: Miguel et al. (2002)

As informações apresentadas de seguida são alguns dos registros relacionados com as inundações, considerados os mais relevantes na província de Luanda. Esses registros foram obtidos de diversas fontes e organizados em ordem cronológica. São também apresentados alguns registros de fatos marcantes que ocorreram nesses eventos:

**22/03/2013** (<http://www.abola.pt/africa/ver.aspx?id=390647>): “*Chuvas em Luanda fizeram um morto*”. A vítima morreu eletrocutada, por estar em contato com água, numa casa que tinha sido inundada, e que terá entrado em curto-circuito devido aos danos causados pelo mau tempo. As chuvas deixaram mais de 30 famílias desalojados e as ruas estavam intransitáveis devido as cheias.

**24/03/2013:**

([http://www.portalangop.co.ao/motix/pt\\_pt/noticias/sociedade/2013/2/12/Chuva-deixa-](http://www.portalangop.co.ao/motix/pt_pt/noticias/sociedade/2013/2/12/Chuva-deixa-)

[ruas-bairros-Luanda-inundados,b27f0ede-c278-48e7-9648-67e6d8236f03.html](http://ruas-bairros-Luanda-inundados,b27f0ede-c278-48e7-9648-67e6d8236f03.html)) ***“Chuvas deixam ruas e bairros de Luanda inundados”***. No município de Belas, as maiores vítimas das inundações foram as mais de 500 famílias que vivem no bairro das Salinas, no Benfica. Registou-se igualmente, no Belas, a submersão da denominada ponte molhada, onde varias viaturas ficaram presas.

**05 e 06/04/2013:** (<http://www.dnoticias.pt/actualidade/mundo/379570-chuvas-em-luanda-provocaram-nove-mortos-e-quatro-desaparecidos>). e <http://www.angolabelazebelo.com/2013/04/mortos-e-desaparecidos-ontem-em-luanda-devido-a-inundacoes-e-desabamentoss/>) ***“Mortos e desaparecimentos em Luanda, devido a inundações”***. Foram vítimas das fortes chuvas, crianças e adultos, nos distritos da Samba e Kilamba Kiaxi, município de Luanda. Além das vítimas, as chuvas provocaram igualmente danos materiais, como uma ponte de acesso a uma zona residencial, a sul de Luanda, e o desabamento de várias residências no morro da Boavista e inundações de mais de 500 residências nos distritos da Ingombota e Samba.



Figura 8-Foto de inundação em Luanda, 5 - 6/04/2013

**18/11/2012:**

([http://www.jn.pt/PaginaInicial/Mundo/Palops/Interior.aspx?content\\_id=2897110&page=1](http://www.jn.pt/PaginaInicial/Mundo/Palops/Interior.aspx?content_id=2897110&page=1))

***“Chuva intensa em Luanda submergiu viaturas e provocou corte de várias estradas”***.

Estragos materiais, com viaturas submersas, inundações em zonas de habitação e corte de estradas foram os resultados da chuva intensa. Os municípios afetados foram os de Viana, Cazenga e Belas e parte das áreas urbanas da Samba, Kilamba Kiaxi e Maianga. Em alguns bairros, várias ruas ficaram intransitáveis para peões e viaturas devido à dificuldade no escoamento da água aglomerada.

**04/01/2011:** (<http://portuguese.ruvr.ru/2011/01/05/38849044.html>) “**11 mortos em Luanda por inundações**”. Onze pessoas morreram em Luanda nas inundações, provocadas pelas chuvas. Seis pessoas, entre elas duas crianças, morreram afogadas. Registou-se cinco mortes por eletrocussão.

**05/04/2011:**

([http://www.dn.pt/inicio/globo/interior.aspx?content\\_id=1825065&seccao=CPLP&page=1](http://www.dn.pt/inicio/globo/interior.aspx?content_id=1825065&seccao=CPLP&page=1))

“**Chuvas em Luanda provocaram quatro mortos.**” O desabamento de uma ponte de ligação entre os municípios da Maianga e Kilamba Kiaxi causou a morte a uma pessoa e ferimentos graves a duas outras. No Cazenga duas mulheres morreram arrastadas pela força das águas.

**15/02/2009:** (<http://www.angonoticias.com/Artigos/item/21313>) “**400 Famílias sem abrigo em Luanda**”. O município do Kilamba Kiaxi, foi o mais afetado pela chuva que assolou a capital angolana. As chuvas provocaram igualmente danos nas zonas de Cacucaco, Cazenga, e Maianga, assim como em Viana e no Rangel, embora de menor dimensão.

**??/1969:** (<http://joanfuba.blogspot.pt/2013/03/inundacoes-em-luanda-1969.html>) “**Luanda inundada pela chuva**”



Figura 9-Fotos de Inundação em Luanda, 1969

**20-21/04/1963:** (<http://reviverestorias.blogspot.pt/2011/06/luanda-1963-grande-enxurrada.html> e <http://tempocaminhado.blogspot.pt/2013/01/inundacoes-em-luanda-angola-no-ano-de.html>) **“Luanda flagelada pelas chuvas”**. Residências foram inundadas. Em alguns bairros e partes da cidade, os automóveis circulavam com as águas ao nível das portas e casa foram arrastadas.

### **1.5. Leis e processos informais de acesso à terra em Angola. Legislação e política de terras.**

A legislação em vigor em Angola tem como base, na sua generalidade, o sistema legal colonial com as adaptações introduzidas na pós-independência à natureza social da legislação portuguesa. No período colonial em Angola, a Lei 2030 de 1948 foi a base da Lei de terras. Posteriormente, foi disciplinada pelo Regulamento da Ocupação e Concessão de Terrenos nas províncias Ultramarinas, publicado no Decreto nº 43.894, de 6 de setembro de 1961, identificando os principais regimes de concessão (aforamento, aruamento e concessão gratuita).

Este regime vigorou ainda nos primeiros anos de independência até a aprovação da Lei nº 21-C/92 de 28 de Agosto, sobre a Concessão da Titularidade, do uso e aproveitamento da terra, que regulamentou a concessão de terras para fins agrícolas com base de desenvolvimento rural e direito de superfície, não contemplando as demais vocações da terra. Esta lei foi regulamentada através do Decreto-Lei nº 32/95, de 8 de Dezembro.

Com a independência em 1975, a nova constituição estabeleceu que todas as terras passariam a pertencer ao Estado, podendo o seu uso ser transferido para indivíduos ou entidades. O Decreto-Lei 46-A/92 estabeleceu o Direito de Concessão aos Governos Provinciais das áreas urbanas, cuja terra estava sobre o controlo estatal, por um período mínimo de 25 anos e um máximo de 60 anos renováveis.

Em 1994, foi aprovada a Lei resolução 30/94 pelo Governo Provincial de Luanda com o fim de controlar a tendência de uso não planificado do solo. O Regulamento 1 de 1996 permitiu o Direito ao uso de superfície, no quadro de desenvolvimento de terras e infraestruturas com parcerias público-privadas do programa Luanda Sul.

Em 2000, foi aprovado em Conselho de Ministros o plano de Gestão e Crescimento urbano de Luanda, que deveria servir de base para um plano Diretor a ser posteriormente elaborado. Foram de seguida elaborados dois despachos – 57/2000 e 82/2000 – com o objetivo de criar um grupo de trabalho que atualizaria as leis e regulamentos do governo provincial de Luanda e orientaria o início de uma planificação urbana abrangente e sistemática.

Em 2002, após o fim da guerra civil, o Conselho de Ministros nomeia uma nova Comissão para elaborar uma nova Lei de Terras. Em Julho do mesmo ano é publicado um primeiro esboço do anteprojeto, um segundo esboço é levado à Assembleia nacional em novembro de 2003 e a versão revista e remodelada é aprovada em agosto de 2004.

Esta nova lei de terras, Lei nº 9/04, homologada pelo Presidente da República em 9 de novembro, estabelece que a terra constitui propriedade do Estado e que o seu uso pode ser transmitido para pessoas singulares ou coletivas, tendo em vista o seu racional e integral aproveitamento. A lei consagra igualmente que o Estado respeita e protege a propriedade das pessoas, quer singulares quer coletivas, bem como a propriedade e a posse das terras pelos camponeses, sem prejuízo da possibilidade de expropriação para utilidade pública.

De acordo com a *Development Workshop* (2005:149), esta Lei “ignora, assim as experiências de outros países de África e os múltiplos defeitos dos sistemas de gestão administrativa centralizada. Por exemplo, os princípios enunciados na versão preliminar da Lei não fazem referência a qualquer gestão participativa da terra, ou mesmo a obrigações sociais dos proprietários da terra – um princípio de propriedade da terra mais ou menos universalmente aceite hoje em dia”.

Esta lei não está totalmente de acordo com os princípios do Plano Global de Ação da Agenda Habitat, aprovados na cimeira das cidades em Istambul em 1996, da qual Angola fez parte. De um modo geral, as recomendações feitas pelas organizações da sociedade civil e organizações não-governamentais não foram absorvidas e incorporadas na Lei de Terras de 2004. Contudo, fizeram parte da Lei final algumas melhorias, reflexo dessas recomendações, nomeadamente: a proteção dos direitos coletivos tradicionais e a

extensão do período cedido aos ocupantes informais de terra, para três anos, para regularização das suas parcelas.

### **1.6. Plano de intervenção para o crescimento acelerado da cidade de Luanda.**

Nota-se que têm sido tecidas críticas acerca das estratégias de desenvolvimento devido a falta de planeamento, ainda no período colonial. Destacam-se de seguida alguns dos planos que foram elaborados desde o período colonial referentes ao desenvolvimento urbano de Luanda e, especificamente dos musseques:

1. O plano de urbanização aprovado pela câmara municipal de Luanda em 1943, elaborado por Etienne Grover e David Moreira da Silva, consistia essencialmente na criação de zonas residenciais distintas para europeus e nativos. Este plano acabou por servir apenas como base para estudos desenvolvidos para a câmara municipal na década de 1950, dado que foi ultrapassado pelo rápido crescimento da cidade. Este crescimento resultou numa população de apenas 150 mil habitantes a viver em áreas planeadas e os restantes 350 mil em musseques e áreas ilegalmente construídas, no período entre 1963 e 1973.
2. Em 1973, foi contratada uma empresa francesa, a O.T.A.M<sup>2</sup> para desenvolver o Plano Diretor da cidade de Luanda, desta vez com princípios inovadores. Este plano propunha a criação de três pólos alternativos de crescimento: Viana, Cacuaco e Camama, numa área total de 17 mil hectares à volta de Luanda, para restringir o desenvolvimento da cidade já existente. Esta solução foi importante no sentido de se reconhecer a necessidade de se conterem os musseques, propondo-se o seu melhoramento e aproveitamento, criando para as novas zonas de crescimento oportunidades de trabalho e melhores níveis de serviço.
3. Em 1979, foi preparado, pelo diretor nacional de planeamento físico, um Plano Diretor para Luanda que continha cinco alternativas. Este Plano revelou um desconhecimento básico da situação de Luanda e do país, sendo as suas propostas irrelevantes perante as necessidades da cidade. Por outro lado, revela também a falta de capacidade técnica e administrativa do governo para implementação

---

<sup>2</sup> Omnium Technique d'Ameénagement



destes planos, para urbanização e para controlo do crescimento desenfreado da população urbana e das ocupações informais.

4. Em 1982, foi publicada a lei da autoconstrução, que assentava na demarcação de parcelas e na definição de áreas para serviços sociais e ainda fornecia materiais de construção subsidiados. A resposta a isto foi a ocupação informal dos terrenos destinados a autoconstrução e uma procura que ultrapassou totalmente a capacidade de subsídios do estado.
5. Em 1987, à semelhança dos programas aplicados na África do Sul para melhoramento das áreas suburbanas, há uma nova iniciativa proposta pela *Development Workshop* e pelo departamento nacional do urbanismo para criar um gabinete para reabilitação dos musseques em Luanda. O projeto foi considerado pela Conferência do Habitat sobre Assentamento Humano, realizada em Istambul em 1996, como uma das melhores práticas deste tipo de iniciativas. Contudo, mais uma vez, a sua aplicação em Luanda não se soube replicar porque não conseguia dar resposta ao rápido aumento da procura.
6. Entre 1995 e 1997, foi desenvolvido o plano de gestão do crescimento urbano da cidade de Luanda, sob a coordenação do Ministério do Plano, um projeto do Banco Mundial para o Governo Provincial de Luanda desenvolvido pela Dar al-Handasah. O projeto tenta estabelecer orientação de crescimento urbano tomando em consideração as tendências de expansão verificadas. Este plano apresenta recomendações a nível das infraestruturas básicas, transportes e diversos setores incluindo orientações para criação de uma entidade responsável pela implementação do plano, e para obtenção dos recursos financeiros necessários. Para tal sugere a reforma e formação dos recursos humanos do Governo Provincial de Luanda. Apenas em 2000 este plano foi aprovado, estando as suas soluções e recomendações já ultrapassadas. Contudo serviu de referência a estudos e planos desenvolvidos posteriormente, e o seu regulamento constitui o único existente.
7. Integrado no Plano de Gestão do Crescimento Urbano da Cidade de Luanda de 1995/1997 desenvolveu-se o Plano de Drenagem de estradas e de águas pluviais. Tinha como objetivos principais a melhoria das condições ambientais, de saneamento, acessibilidades, sistemas de drenagem e recolha de resíduos sólidos. No entanto este projeto acabou por não ser implementado, devido aos custos que foram avaliados como muito elevados.

8. O Plano estratégico do Solo e de Reabilitação de Luanda, desenvolvido em 2002 pelo Gabinete de Obras Especiais, identificou os principais problemas a nível do planeamento da cidade, do sistema de transporte, infraestrutura e serviços. Propõe soluções que incluem o desenvolvimento de corredores técnicos no sentido de estruturar o sistema rodoviário e facilitar a instalação do saneamento básico e infraestruturas e impedindo a ocupação informal. Recomenda a reforma da estrutura legal atribuindo maior legitimidade aos municípios e propõe a criação de mecanismos de incentivo ao setor privado assim como a criação de atrativos nas outras províncias para o alívio populacional de Luanda.
9. Com base no documento de estudo Estratégia de desenvolvimento a longo prazo – Angola 2005, elaborado pela Dar al-Handasah, foi elaborado um novo documento em 2007, que traça diretrizes e estratégias para o Plano de Desenvolvimento 2009/2013, para Luanda e Bengo. Este documento indica que o desenvolvimento principal deste projeto que abrange as duas províncias concentra-se essencialmente em Luanda.
10. Foi preparada em 2007, pelo governo provincial de Luanda, o Plano Regional do Bengo, que define propostas com influência no Plano estratégico de Luanda.
11. Em 2008/2009 foi desenvolvido pelo consultor Dar al-Handasah sob a coordenação do então Ministério do Ambiente e Urbanismo, o Plano Integrado de Expansão Urbana e Infraestruturas de Luanda e Bengo. Este estudo reflete o desenvolvimento de Luanda após 2007, tendo como referência anterior o Plano de Gestão do Crescimento Urbano da Cidade de Luanda. Este relatório foi desenvolvido em quatro estágios, e cada estágio apresentam, respetivamente: I. Atualização da situação existente e a revisão das alternativas viáveis; II. Preparação de um Plano Expansão Urbana para Luanda e Bengo; III. Preparação de um Plano Diretor de Infraestrutura de Luanda e Bengo; IV. Formulação do Programa de Desenvolvimento e Perfis do Projeto para projetos de infraestrutura recomendados.

## **2. Princípios básicos de detecção remota.**

### **2.1. Considerações gerais e definições de detecção remota.**

Deteção remota (ou sensoriamente remoto), termo usado no início dos anos de 1960 por Evelyn L. Pruitt e colaboradores, é uma das mais bem-sucedidas tecnologias de obtenção automática de dados para o levantamento e monitorização dos recursos terrestres à escala global. A origem da detecção remota nos anos de 1960 deveu-se ao espetacular desenvolvimento da área espacial nesses anos, que ficou conhecida como a década da corrida espacial. Foi nesse período que se viu o mais rápido desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, que possibilitou colocar no espaço satélites artificiais para várias finalidades. Os satélites meteorológicos foram os pioneiros e, por meio deles, quase que de uma maneira acidental, é que a detecção remota deu os seus primeiros passos. O primeiro desses satélites foi o TIROS-1,<sup>3</sup> lançado em 1960 pelos Estados Unidos da América (García, et al., 2012). A década de 1960 também foi, a década em que o homem pode ir ao espaço em satélites tripulados e de lá observar a Terra e tirar as primeiras fotos da superfície terrestre, usando câmaras fotográficas manuais. Foram essas experiências realizadas pelos programas espaciais tripulados Mercury, Gemini e Apollo, que asseguraram o futuro da detecção remota.

Os excelentes resultados desses programas espaciais impulsionaram as pesquisas para a construção fotográfica, visto que a substituição de filmes no espaço seria algo impossível de se fazer. Esses equipamentos deveriam ter a capacidade de recobrir a superfície terrestre e de armazenar ou transmitir para a Terra os dados recolhidos. A única possibilidade para fazer isso era obter os dados em formatos digitais, usando equipamento eletrónico.

Um marco importante que deu início à era da detecção remota moderna foi o lançamento pelos E.U.A do primeiro satélite de detecção remota, ERTS<sup>4</sup>-1, posteriormente renomeado para Landsat<sup>5</sup> 1, colocado em órbita em 1972 a cerca de 919 km de altura (García et al., 2012). Do programa americano Landsat seguiram-se outros, europeus, canadiano, asiáticos e sul-americanos, cada um procurando atender, cada vez mais, necessidades específicas, quer sejam em função das características geográficas das diversas regiões terrestres ou em função das suas aplicações. Atualmente há em circulação no espaço

---

<sup>3</sup> Television IR Operational Satellite

<sup>4</sup> Earth Resources Technology Satellite

<sup>5</sup> Land Remote Sensing Satellite

dezenas de sensores orbitando a superfície da Terra em todas as faixas espectrais possíveis, com os mais variados parâmetros de resolução espacial e temporal (García et al., 2012)

Historicamente, reconhece-se que o termo “deteção remota” foi criado para designar o desenvolvimento dessa nova tecnologia de instrumentos capaz de obterem imagens da superfície terrestre a distância remotas. Por isso, a definição mais conhecida ou clássica da deteção remota (sensoriamento remoto) é: uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto (Meneses & Almeida, 2012).

A condição principal imposta por essa definição clássica, que é o sensor estar a uma distância remota do objeto, estabelece a base para definir a deteção remota numa conceção um pouco mais científica, que é regida segundo os seguintes preceitos (García et al., 2012):

- Exigência: ausência de matéria no espaço entre o objeto e o sensor;
- Consequência: a informação do objeto é passível de ser transportado pelo espaço vazio;
- Processo: o elo de comunicação entre o objeto e o sensor é a radiação eletromagnética, a única forma de energia capaz de ser transportada pelo espaço.

Com base nesses preceitos, uma definição mais científica que pode dar-se a deteção remota seria: “é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da deteção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (García et al., 2012).

Segundo Lillesand et al. (2003) “a deteção remota é a ciência e a arte que procura obter informações sobre um conjunto, área ou fenómeno, através da análise de dados adquiridos por um sensor que não está em contacto com esse objeto, área ou fenómeno”. Esse sensor mede a interação entre a matéria e a energia eletromagnética – é precisamente essa interação que permite identificar as características da matéria – e pode ser colocado em três grandes tipos de plataformas: espaciais, aéreas e/ou terrestres. Numa outra perspetiva mais ampla, podemos afirmar que, para além da aquisição de dados, a deteção remota engloba também o seu processamento e interpretação (Sabins, 1997). A tarefa de processamento engloba o conjunto de técnicas que transforma os dados em

bruto em imagens. A fase de interpretação, talvez a mais importante, consiste em converter uma imagem em informação significativa e útil para aplicações diversas.

Os componentes que integram o processo usual de detecção remota por satélite estão representados na Figura 10.

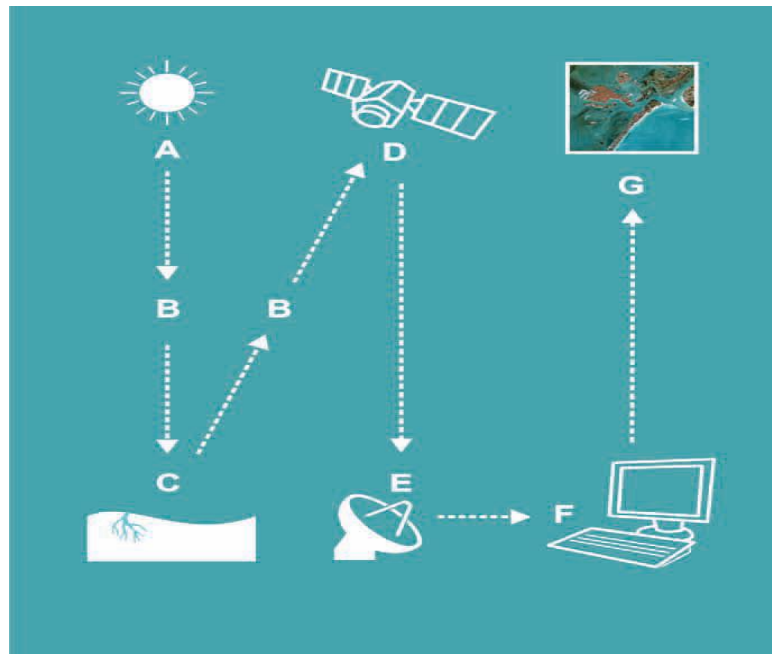


Figura 10-Componentes do processo de detecção remota por satélite. A- Fonte de energia (Sol); B - Atmosfera; C- Objetos; D- Satélite; E- Estação de recepção e processamento; F- Processamento e interpretação; G- Planejamento e Gestão. Fonte: García et al. 2012

## 2.2. O espectro eletromagnético.

Os olhos dos seres humanos podem ser considerados sensores remotos dado que detetam a luz refletida pelos objetos em seu redor. No entanto, a visão humana apenas consegue processar a parte visível do espectro eletromagnético.

A luz visível é apenas uma das muitas formas de radiação eletromagnética existentes; as ondas de rádio, o calor, os raios ultravioletas e os raios-X são outras formas bastante comuns. Em detecção remota, é comum caracterizar as ondas eletromagnéticas pelo seu comprimento de onda, em micrómetros ( $\mu\text{m}$ ,  $10^{-6}$  m) ou em nanómetros (nm,  $10^{-9}$  m), consoante a posição que ocupam no espectro eletromagnético, ficando desta forma definidas as diferentes regiões do mesmo (Richard & Jia, 2006). Embora por convenção

lhes sejam associadas determinadas denominações (ultravioletas, visível, infravermelho, micro-ondas, etc.), não existem divisões exatas entre umas e outras (Figura 11).

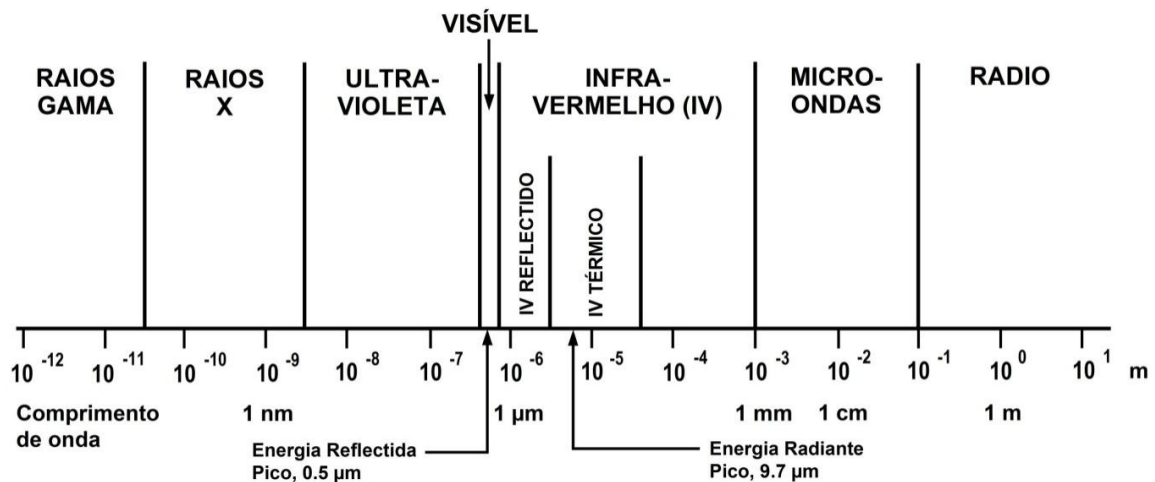


Figura 11-Espectro eletromagnético da radiação solar. Fonte: adaptado de Sabins (1997) e Brum da Silveira (2002).

Os sensores para detecção remota existentes a bordo de satélites são capazes de detectar e registrar radiações das regiões não visíveis do espectro eletromagnético, desde o ultravioleta às micro-ondas.

O visível (VIS) é uma pequena região do espectro eletromagnético que apenas abrange o intervalo entre 0.4  $\mu\text{m}$  – 0.7  $\mu\text{m}$  (Júnior et al., 2012). A cor azul situa-se de 0.4 a 0.5  $\mu\text{m}$ ; o verde de 0.5 a 0.6  $\mu\text{m}$ , e o vermelho de 0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ . a energia ultravioleta (UV) encontra-se imediatamente abaixo da cor azul. Acima da cor vermelha situa-se a região do infravermelho, dividida em três categorias: IV próximo (NIR) (0.7 - 1.3  $\mu\text{m}$ ), IV médio (SWIR) (1.3 – 3  $\mu\text{m}$ ) e IV térmico (TIR) (3 – 100  $\mu\text{m}$ ). A porção do espectro associado às micro-ondas situa-se para além do IV, registrando os maiores comprimentos de onda usadas em detecção remota (1 mm – 1 m). Neste mesmo grupo, as ondas mais curtas têm propriedades similares ao IV térmico. As restantes são similares às usadas nas telecomunicações.

### 2.3. Resolução dos sensores remotos.

Os sensores instalados nos satélites para detecção remota possuem uma série de particularidades que determinam as características das imagens que vão resultar do

processo. Estas características são definidas basicamente por diferentes tipos de resolução: espacial, espectral, radiométrica e temporal.

### **2.3.1. Resolução espacial**

A resolução espacial é uma medida da distância angular ou linear mais pequena que pode captar um sensor remoto da superfície terrestre, e é representada por um pixel. Um pixel é a unidade que forma uma imagem digital.

O pixel tem geralmente uma forma quadrada, pelo que o comprimento no terreno equivalente a um lado do pixel define a resolução espacial do sensor. A resolução espacial de um sensor é normalmente expressa em metros ou metros/pixel.

São vários os fatores que determinam a resolução espacial de um sensor remoto (distância sensor-superfície terrestre, ângulo de visão e campo de visão instantânea). No caso dos sensores a bordo de satélites, estes fatores são praticamente fixos, razão pela qual a resolução espacial pode ser considerada constante, sempre que o ângulo de visão não seja grande. Por exemplo, a resolução espacial do sensor do satélite GEOYE-1 é de 1.64 m em visão vertical (nadir) mas a 28° passa a ser de 2 m, ou seja 22% menor (Salinero, 2007).

Quanto maior é a resolução espacial, isto é, menor a superfície representada por um único pixel, mais perceptíveis são os objetos que se podem distinguir na área de estudo. Por exemplo, uma imagem com uma resolução de 0.5 m/pixel permitirá distinguir objetos mais pequenos que uma imagem de 2 m/pixel, como se pode observar na Figura 12.

Para que um objeto homogêneo possa ser detetado, o seu tamanho tem de ser geralmente igual ou maior que a superfície do terreno que representa um pixel. Se o objeto é menor, poderá não ser detetado e o sensor registará um valor correspondente à média de tudo o que exista no interior da área correspondente ao respetivo pixel. No entanto, em alguns casos, objetos menores são detetados pelo fato da sua refletância ser a dominante dentro da superfície do pixel.



Figura 12-Imagens com distinta resolução espacial: 2 m/pixel (A) e 0.5 m/pixel (B). Fonte: SATELMAC

### **2.3.2. Resolução espectral**

Geralmente, nos dispositivos de detecção remota, o registro da radiação é feito tendo como referência um determinado intervalo de comprimento de onda do espectro eletromagnético. Por exemplo, um sensor sensível a comprimentos de onda entre 0.4 e 0.5  $\mu\text{m}$  detetaria a luz azul. Este intervalo é conhecido por “banda espectral” ou “canal dos dados” de uma imagem. Por resolução espectral de um sensor entende-se o número da resolução espectral que resulta num maior número de canais ou bandas espectrais (García et al., 2012).

### **2.3.3. Resolução radiométrica**

Segundo García et al. (2012), a resolução radiométrica pode ser definida como a quantidade mínima de energia requerida para incrementar o valor de um pixel em um nível digital (ND). A resolução radiométrica em imagens digitais é comparável ao número de níveis de cinzento numa fotografia a preto e branco, dado que ambos estão relacionados com o contraste. Embora a amplitude radiométrica defina o número máximo de níveis digitais detetáveis por um sensor, normalmente uma imagem real não inclui todos os níveis possíveis. Geralmente, também não existem valores máximos e mínimos. Nestes casos podem ser aplicadas técnicas de tratamento de imagens que melhorem a sua aparência visual, mas nunca a resolução radiométrica específica do próprio sensor. A



dispersão e absorção da radiação captada pelo sensor provocadas pela atmosfera reduzem o número de ND nas imagens, especialmente nos comprimentos de onda mais curtos. Em termos visuais isto traduzir-se-ia numa perda de contraste. Existem procedimentos que permitem obter medições de refletância relativas aos da superfície, eliminando ou reduzindo o efeito da atmosfera (Figura 13).



Figura 13- Resolução radiométrica. A esquerda, imagem original captada por um satélite e à direita imagem com efeito atmosférico corrigido. Fonte: Satellite Imaging Corporation

#### **2.3.4. Resolução temporal.**

A resolução temporal consiste no ciclo de repetição, ou seja, no intervalo de tempo que decorre entre duas aquisições sucessivas de imagens da mesma porção da superfície terrestre pelo mesmo sensor (Salinero, 2007). Esta característica depende sobretudo das características orbitais do satélite, sendo frequentemente denominada também de “período de revisitação”. Normalmente, os satélites meteorológicos têm uma frequência diária (NOOA) ou inclusivamente menor (METEOSAT), enquanto os satélites mais populares para deteção remota de recursos naturais (tipo LandSat) têm uma resolução temporal da ordem dos 16 e 18 dias.

No entanto, muitos dos atuais satélites possuem a capacidade de reorientar o sensor, o que lhe permite aumentar a sua frequência de revisitação de uma determinada área. Esta

capacidade acrescida é muito importante no acompanhamento de desastres naturais ou para detetar processos de curta durabilidade temporal. A resolução temporal de um sensor depende principalmente de três fatores: 1.Capacidade de reorientação do sensor para ambos os lados da linha de passagem do satélite; 2.Largura de varredura; 3.Latitude, no caso de órbitas quase polares, a uma maior latitude corresponde um menor período de revisitação do sensor (García et al., 2012).

### 3. Análise de bacias hidrográficas.

#### 3.1. As bacias e os padrões de drenagem.

A bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais afluentes sejam descarregados através de uma única saída (Lencastre & Franco, 2010).

Segundo Christofolletti (1980), a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a *bacia de drenagem*, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração. As bacias de drenagem podem ser classificadas, de acordo com o escoamento global, nos tipos: exorreicas, endorreicas, arreicas e criptorreicas. Utilizando-se o critério geométrico, da disposição fluvial sem nenhum sentido genético, os tipos básicos dos padrões de drenagem são: drenagem dendrítica, treliça, radial, paralela anular e retangular

A Figura 14 mostra os principais tipos de drenagens.

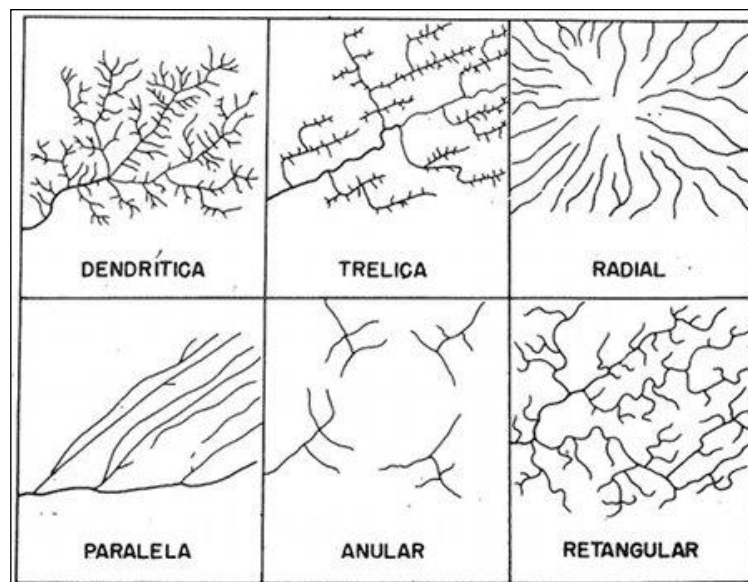


Figura 14- Principais tipos de padrões de drenagem. Fonte: (Christofolletti, 1980)

### **3.2. Hierarquia fluvial.**

A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Isso é realizado com a função de facilitar e tornar mais objetivos os estudos morfométricos (análise linear e areal) sobre as bacias hidrográficas (Christofolletti, 1980).

Robert E. Horton, em 1945, foi quem propôs de modo mais preciso, os critérios iniciais para a ordenação dos cursos de água. Para Horton, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem somente recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também podem receber afluentes de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e, também, os de ordem inferior e assim sucessivamente. Todavia, na ordenação proposta por Horton, o rio principal é definido pelo mesmo número de ordem desde a sua nascente. Para se determinar qual é o afluente e qual o canal principal a partir da última bifurcação, podem ser usadas as seguintes regras: a) partindo de jusante da confluência, estender a linha do curso de água para montante, para além da bifurcação, seguindo a mesma direção. O canal confluyente que apresentar maior ângulo é o de ordem menor; b) se ambos os cursos possuem o mesmo ângulo, o rio de menor extensão é geralmente designado como de ordem mais baixa. O processo de refazer a numeração deve ser efetuado a cada confluência como ordem mais elevada, até que o canal de n-ésima ordem se estenda desde a confluência final até a nascente do tributário mais longo (Figura 15-A).



de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência (Figura 15-B).

Em ambos os procedimentos, verifica-se que a rede de canais pode ser decomposta em segmentos discretos, cada um composto por um ou mais segmentos de acordo com as regras do sistema de ordenação e a área superficial contribuindo para cada subconjunto é a bacia de drenagem que lhe está associada. Desta maneira, o conceito de ordem ou de hierarquia é aplicável tanto a rede de canais como às bacias hidrográficas.

Considerando a relação de bifurcação entre as várias ordens, estabeleceu-se a *lei do número de canais*, que pode ser aplicada com a mesma exatidão nas bacias hierarquizadas conforme o sistema de Horton ou o processo de Strahler. Deve-se lembrar-se que a quantidade de rios existentes em determinada bacia é obtida pela soma dos canais das diversas ordens, se se utilizar do processo de Horton, que corresponderá ao número de canais de primeira ordem na classificação de Strahler.

Tanto o sistema de Horton como o de Strahler pressupõem que a ordem dos canais aumenta de 1 se um rio entra em confluência com outro de mesma ordem. Scheidegger (1965) assinala que as características de cada trecho fluvial dependem de sua ordem (a ordem significando um curso que possui características físicas definidas) e da posição ao longo da extensão do rio, podendo-se especificar condições de similaridade para cada ordem. Sob o ponto de vista hidrológico, toda junção contribui para modificar a ordem do canal principal, alterando suas propriedades dentro da rede e criando um novo segmento.

Considerando que na natureza, sob condições geográficas e climáticas similares, a descarga e outras características hidrológicas dependem, em grande parte, do número de canais existentes na área, Adrian E. Scheidegger, em 1965, propôs outro sistema de ordenação fluvial, denominando-o *de método de ordenação dos canais uniformes* (*consistente stream ordering*). A definição de ordem uniforme relaciona-se às conexões ou ligamentos fluviais, que são os trechos de canais ao longo dos quais não ocorre nenhuma junção, pois toda confluência que se efetua em um segmento altera a numeração. A ordem uniforme  $N$  de qualquer conexão formada pela confluência de dois canais de ordem  $r$ ,  $s$ , é fornecida pela lei de composição logarítmica:

$$N = \log_2(2^r + 2^s).$$

Esta exprime o fato de que todas as junções em uma rede fluvial são consideradas, o que implica que os efeitos e consequências de todos os tributários, de qualquer ordem, sobre o rio principal são levados em consideração. Scheidegger começa por estabelecer para cada canal de primeira ordem (de acordo com Strahler, 1980) o valor numérico igual a 2, e a cada confluência vai-se processando o somatório dos valores atribuídos (Figura 15-C). Dessa forma, se dividirmos o número de ordem de qualquer conexão pelo valor 2, obteremos a quantidade de canais fontes ou de primeira ordem que contribuíram para a referida conexão. Utilizando-se o valor atribuído à última conexão na bacia hidrográfica, podemos calcular o número de nascentes contribuintes para o rio principal.

No mesmo sentido é a contribuição de Shreve (1966;1967) que estabelece a magnitude de determinado ligamento ou de determinada bacia. A magnitude de um ligamento em uma rede de canais é definida da seguinte maneira: a) cada ligamento exterior tem magnitude 1, entendendo-se como ligamento exterior o canal que vai desde a nascente até uma confluência; b) se ligamentos de magnitudes  $u_1$  e  $u_2$  se juntarem, o ligamento resultante a jusante terá magnitude  $u_1$  mais  $u_2$  (Figura 15-D). A magnitude de um ligamento é igual ao número total de nascentes que lhe são tributárias. Este procedimento visa considerar que a entrada de um tributário de ordem inferior altera a ordem do rio principal, pois ele reflete a quantidade de canais de primeira ordem que contribui para a sua alimentação.

A proposição introduzida por Strahler (1980) é a mais amplamente utilizada, em virtude do caráter descritivo e do relacionamento com as leis da composição da drenagem. Por outro lado, as proposições de Scheidegger e de Strahler são mais lógicas sob o aspecto hidrológico.

### **3.3. Análise linear da rede hidrográfica.**

Na análise linear são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrológica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Podemos distinguir o seguinte:

1. **Relação de bifurcação.** Foi definida por R. E. Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número

total dos de ordem imediatamente superior. Recorrendo-se o sistema de ordenação de Strahler, verifica-se que o resultado nunca pode ser inferior a 2. A expressão utilizada para o cálculo é representada como

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}},$$

onde,  $N_u$  é o número de segmento de determinada ordem e  $N_{u+1}$  é o número de segmentos de ordem imediatamente superior.

### 3.4. Análise areal das bacias hidrográficas.

Na análise areal das bacias hidrográficas estão englobados vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares. Podemos incluir os seguintes índices:

1. **Comprimento da bacia (L)** – a) é a distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele (Christofolletti, 1980). O ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro; b) maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro; c) distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro; e d) distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal. A Figura 16 ilustra as várias definições a propósito do comprimento da bacia.



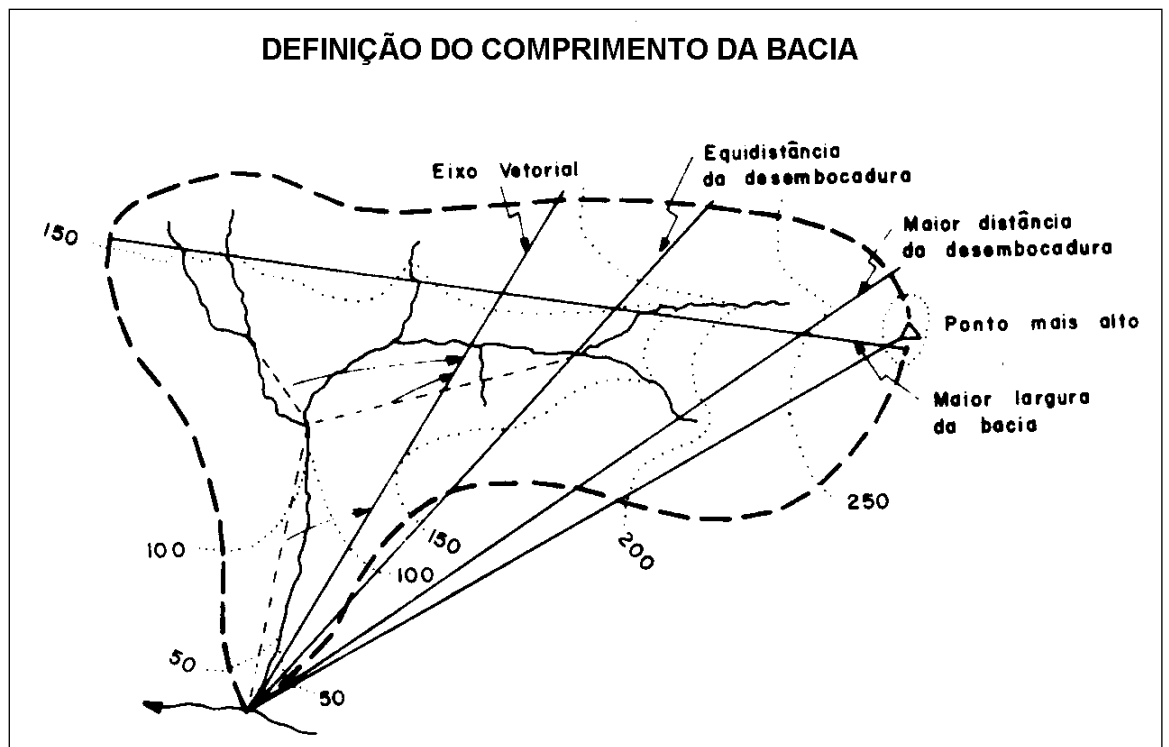


Figura 16- Representação dos diversos critérios utilizados para determinar o comprimento da bacia de drenagem

Fonte: Christofolletti (1980)

2. **Forma da bacia.** A fim de eliminar a subjetividade na caracterização da forma das bacias, foram propostos vários processos. V.C. Miller, em 1953, propôs o índice de circularidade, que é a relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro. Conforme o enunciado, a fórmula utilizada é:

$$I_c = \frac{A}{A_c}$$

Na qual,  $I_c$  é o índice de circularidade;  $A$  é a área da bacia considerada e  $A_c$  é a área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada.

O valor máximo a ser obtido é igual a 1,0. Quanto maior o valor, mais próxima da forma circular estará a bacia de drenagem.

David R. Lee e G. Tomas Salle, em 1970, expôs o seguinte método para estabelecer a forma de uma bacia. Após a delimitação da bacia, independentemente da escala, traça-se uma figura geométrica (círculo, retângulo, triângulo, etc.) que possa cobrir da melhor maneira possível a referida bacia (

Figura 17). E seguida, relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer a bacia e/ou à figura geométrica, obtendo-se um índice de forma. Através da aplicação da fórmula:

$$If = 1 - \frac{(\text{área } K \cap L)}{(\text{área } K \cup L)}$$

Na qual  $If$  é o índice de forma;  $K$  é a área da bacia;  $L$  é a área da figura geométrica. Para esse método, quanto menor for o índice, mais próxima da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

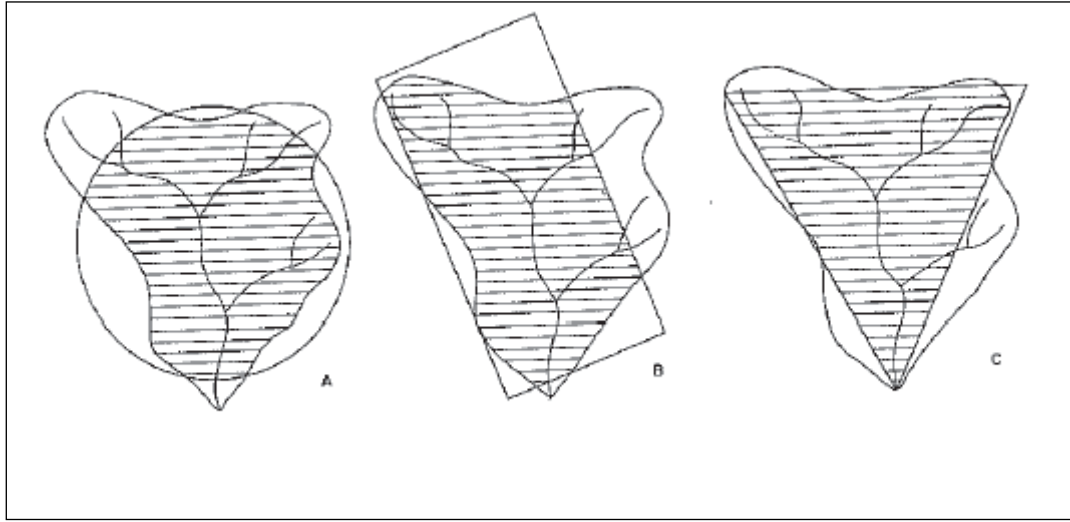


Figura 17- A mensuração da forma de bacias hidrográfica.

Fonte: Christofolletti (Christofolletti, 1980)

O índice entre o comprimento e a área da bacia ( $ICo$ ) pode ser obtido dividindo-se o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área, conforme a seguinte fórmula:

$$ICo = \frac{D_h}{\sqrt{A}}$$

Na qual  $ICo$  – índice entre o comprimento e a área;  $D_h$  - Diâmetro da bacia e  $A$ - área da referida bacia.

Quando o valor do  $ICo$  estiver próximo de 1,0 a bacia apresenta forma semelhante ao quadrado; quando o valor for inferior ao da unidade, a bacia terá forma alongada, e quanto maior for o valor, acima da unidade, mais alongada será a forma da bacia.

3. **Densidade da drenagem.** A densidade da drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. A densidade de drenagem é calculada pela equação

$$Dd = \frac{L_t}{A},$$

Onde,  $L_t$  – é o comprimento total dos canais e  $A$  é a área da bacia.

4. **Coefficiente de compacidade (Kc).** Pode ser interpretado como a relação entre o perímetro da bacia ( $P$ ) e a circunferência de área ( $A$ ) igual à da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade que pode ser expresso por:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A tendência para uma bacia hidrográfica sofrer cheias será tanto maior quanto mais próximo de 1,0 for  $Kc$ , ou seja, quanto mais próximo de um círculo for à forma da bacia (Lencastre & Franco, 2010).

5. **Fator de forma.** É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia hidrográfica. É expresso por:

$$Kf = \frac{A}{L^2},$$

Onde  $L$  é o comprimento do rio em Km.

Quanto menor é o fator de forma mais alongada é a bacia. Uma bacia que apresenta fator de forma baixo é menos sujeita as enchentes relativamente a uma outra bacia com maior fator de forma. Isto é devido à menor possibilidade de ocorrerem chuvas intensas em todos os pontos de uma bacia comprida e estreita (Lencastre & Franco, 2010).

### 3.5. Método de pré determinação dos caudais de ponta de cheia.

Uma situação de cheia numa seção de um curso de água, sob o ponto de vista estritamente hidrológico, acontece sempre que a precipitação dá origem à ocorrência de escoamento superficial direto.

O estudo das cheias pode ser feito com diversos graus de pormenor, consoante as finalidades, como aliás as correspondentes à utilização de todos os dados hidrométricos, dizem respeito: a determinação de valores para utilização das áreas suscetíveis de serem inundadas com determinado grau de risco; e a determinação de valores para utilização em tempo real, com finalidades operacionais de gestão de sistemas fluviais, incluindo o funcionamento de sistemas de aviso de cheias.

A determinação dos valores para fins de planeamento consiste no *cálculo dos caudais* que poderão ser alcançados em certas condições pré-definidas, e é objeto dos métodos de pré-determinação de caudais de ponta de cheia. A determinação dos valores para fins operacionais consiste no cálculo em tempo real, e com a máxima antecedência possível, dos caudais que poderão ocorrer no futuro imediato, e é objeto dos métodos de previsão de cheias.

Para determinação dos referidos valores, foram sendo desenvolvidos ao longo do tempo diversos métodos, a saber: fórmulas empíricas, fórmulas cinemáticas, métodos estatísticos e cálculo da cheia máxima provável.

a) Fórmulas empíricas

Podem citar-se, entre outras as seguintes (Tabela 1):

| Nome     | Fórmula   | Descrição de variáveis  | Aplicabilidade     |
|----------|---|---|--------------------|
| Whistler | $Q_p = A \left( \frac{1538}{259 + A} + 0,054 \right)$ | $Q_p$ - (m <sup>3</sup> /s)- caudal de ponta de cheia; A (km <sup>2</sup> ) - área da bacia   | 1 000 < A < 12 000 |
| Pagliaro | $Q_p = A \left( \frac{2900}{90 + A} \right)$          | $Q_p$ - (m <sup>3</sup> /s) - caudal de ponta de cheia; A (km <sup>2</sup> ) - área da bacia  | A < 1000           |
| Forti    | $Q_p = A \left( b \frac{500}{A + 125} + c \right)$    | $Q_p$ - (m <sup>3</sup> /s) - caudal de ponta de cheia; A (km <sup>2</sup> ) - área da bacia; para precipitação máxima diária menor que 200 | A < 1000           |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | mm, b=2,35 e c=0,5,<br>para precipitação<br>máxima diária<br>compreendida entre<br>200 mm e 400 mm,<br>b=3,25 e c=1. |  |
|--|--|--|--|

Tabela 1-Algumas fórmulas empíricas para cálculo de caudais ponta de cheias. Fonte: adaptado de Lencastre & Franco (2010)

#### b) Tempo de concentração da bacia hidrográfica

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção de saída; pode, igualmente, ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidraulicamente mais afastado da bacia chegue à seção de saída (Lencastre & Franco, 2010).

Existem algumas fórmulas cinemáticas que permitem calcular o tempo de concentração ( $T_c$ ) de uma bacia hidrográfica e que permitem obter uma ordem de grandeza do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica. Tais fórmulas são:

##### 1. Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0663 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Onde, L- comprimento do canal principal (Km) e S- declive médio do bacia hidrográfica (%).

##### 2. Fórmula de Temez

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Onde, L- comprimento do rio principal (Km) e S- declive médio da bacia hidrográfica (%).

##### 3. Fórmula de Ven Te Chow

$$T_c = 0.8773 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

Onde, L- comprimento do canal principal (m/Km) e S- declive rio principal (%).

c) Fórmula racional

$$Q_p = C \hat{I} A,$$

Onde, **C** - é o coeficiente de escoamento, baseado no tipo e característica da superfície do terreno, e que se admite constante para cada bacia hidrográfica desde que aqueles não sejam alterados;  **$\hat{I}$  (m/s)** – intensidade média correspondente ao valor máximo de precipitação para determinada frequência de ocorrência, com duração igual ao tempo de concentração da bacia e **A (m<sup>2</sup>)** - a área total da bacia.

## 4. Metodologia.

### 4.1. Análise da expansão urbana de Luanda no período de 2000 a 2008.

Para atingir o primeiro objetivo proposto, foram adotados os seguintes procedimentos:

- Aquisição das imagens de satélite, órbita 182 e ponto 066, obtidas nas seguintes datas: 14 de junho de 2000 e 01 de agosto de 2008. As imagens foram obtidas dos sensores orbitais LandSat 7 ETM<sup>6</sup>+ e 5 TM<sup>7</sup>, respetivamente (ANEXO 1).

O sensor TM a bordo do satélite LandSat 5 faz o mapeamento da superfície terrestre produzindo imagens com 185 km de largura no terreno, resolução espacial de 30 metros e 7 bandas espectrais (Tabela 2).

| CARACTERÍSTICAS DO SENSOR – TM |   |
|--------------------------------|---|
| Bandas espectrais              | Banda 1 - Azul (0,450 - 0,520 $\mu\text{m}$ )<br>Banda 2 - Verde (0,520 - 0,600 $\mu\text{m}$ )<br>Banda 3 - Vermelho (0,630 - 0,690 $\mu\text{m}$ )<br>Banda 4 - Infravermelho próximo (0,760 - 0,900 $\mu\text{m}$ )<br>Banda 5 - Infravermelho médio (1,550 - 1,750 $\mu\text{m}$ )<br>Banda 6 - Infravermelho termal (10,40 - 12,50 $\mu\text{m}$ )<br>Banda 7 - Infravermelho médio (2,080 - 2,350 $\mu\text{m}$ ) |
| Resolução espacial             | Bandas 1-5 e 7 – 30 metros<br>Banda 6 – 80 metros   |
| Largura da faixa mapeada       | 185 Km  |
| Resolução temporal             | 16 dias   |

Tabela 2- Características das bandas espectrais do sensor TM. Fonte: (Silva & Francisco, 2002)

Já o LandSat 7 lançado em abril de 1999, dentre as principais melhorias técnicas, destacam-se a adição de uma banda espectral (banda pancromática) com resolução de 15 metros, melhorias nas características geométricas e radiométricas e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 metros (Tabela 3). Estes avanços tecnológicos permitem qualificar o LandSat 7 como sendo o satélite mais interessante para a geração

<sup>6</sup> Thematic Mapper

<sup>7</sup> Enhanced Thematic Mapper Plus

de imagens de satélites com aplicações diretas até a escala de 1: 25 000, em áreas rurais principalmente, mesmo em grandes extensões de território;

| CARACTERÍSTICAS DO SENSOR ETM+ |   |
|--------------------------------|---|
| Bandas espectrais              | Banda 1 - 0.45 - 0.515 $\mu\text{m}$ (azul)<br>Banda 2 - 0.525 - 0.605 $\mu\text{m}$ (verde)<br>Banda 3 - 0.63 - 0.690 $\mu\text{m}$ (vermelho)<br>Banda 4 - 0.75 - 0.90 $\mu\text{m}$ (infravermelho próximo)<br>Banda 5 - 1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ (infravermelho médio)<br>Banda 6 - 10.40 - 12.5 $\mu\text{m}$ (infravermelho Termal)<br>Banda 7 - 2.09 - 2.35 $\mu\text{m}$ (infravermelho médio)<br>Banda 8 - 0.52 - 0.90 $\mu\text{m}$ (pancromática) |
| Resolução espacial             | Bandas 1-5, 7 - 30m<br>Banda 6 - 60m<br>Banda 8 - 15m   |
| Largura da faixa mapeada       | 185 Km  |
| Resolução temporal             | 16 dias   |

Tabela 3-Caraterísticas das bandas espectrais do sensor ETM+. Fonte: (Silva & Francisco, 2002)

- O trabalho a seguir foi projetar as imagens 2000 e 2008 de UTM 33N para UTM 33S;
- Foi realizada a composição da imagem de acordo com as bandas de interesse. Após a realização de diversas composições, optou-se pela composição colorida RGB 543, pois fornecia uma melhor diferenciação entre os tipos de uso de solo, nomeadamente a área urbana e as áreas de vegetação natural (ANEXOS 2 e 3);
- Definição das classes a utilizar: água, agrícola e pastagem, (nuvem), solo exposto, solo urbano e vegetação natural;
- Após a definição das classes, deu-se o início a classificação do uso do solo. A técnica usada foi a classificação supervisionada usando o método MAXER (máxima verossimilhança). Esta técnica consiste na extração de amostras de pixel para auxiliar o software a interpretar a imagem de forma automática. Este processo consiste na digitalização de polígonos nas áreas correspondentes às classes definidas. Cabe lembrar que quanto maior for o número de assinaturas obtidas em toda área compreendida pela imagem, mais confiável será a classificação supervisionada, independente do método utilizado pelo classificador (Brites, 1996, p.74). A estratégia de alimentar o classificador com as mais variadas formas de apresentação das classes temáticas foi responsável pelo índice de exatidão obtido. O classificador supervisionado utilizado possibilitou um



aumento na fidelidade do mapeamento, uma vez que considerou cada amostra isoladamente para a constituição da nuvem de distribuição das classes temáticas;

- Aplicação do filtro (Filtro Majoritário) na imagem classificada, objetivando atenuar o efeito do ruído existente nas imagens devido aos erros na transmissão do sinal e às diferenças de sensibilidade dos detetores, além de corrigir pequenos erros de classificação (Novo, 1992, p.246 citado por Demarchi et al., 2011).

- Por fim, calculou-se o Índice de Vegetação Normalizada (NDVI).

O fluxograma (Figura 18), mostra as etapas seguidas para a concretização do primeiro objetivo.

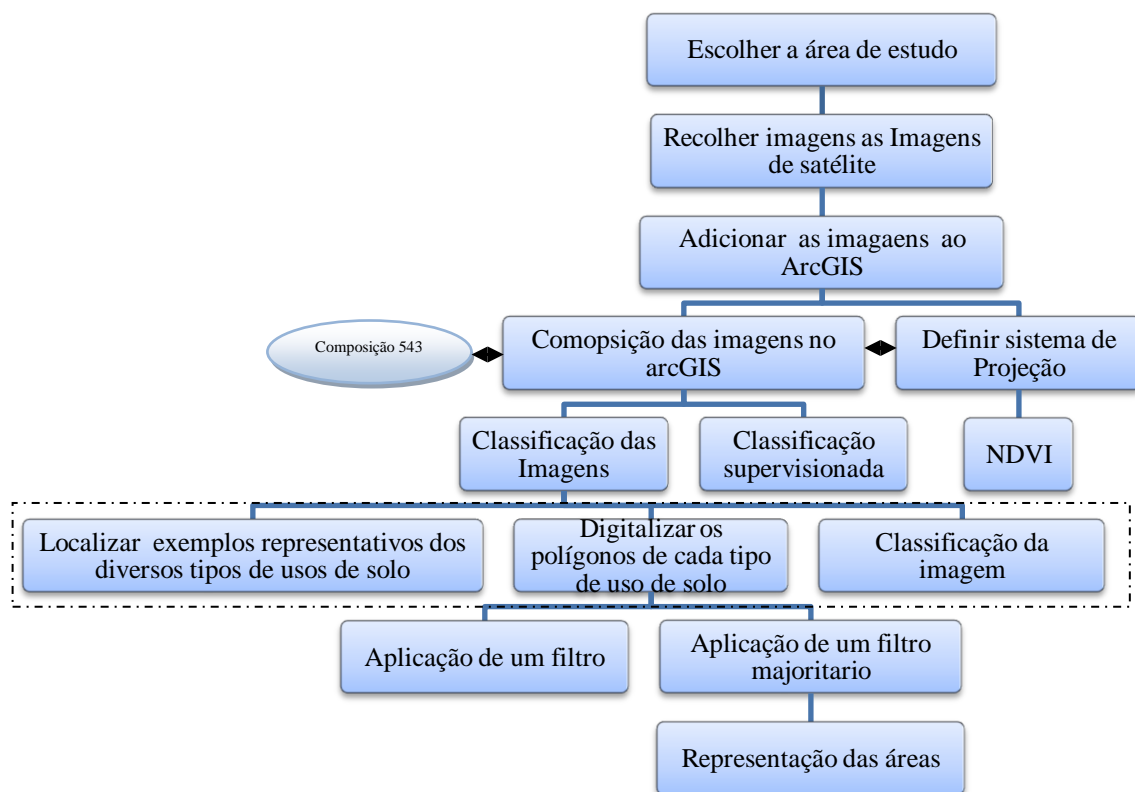


Figura 18-Fluxograma das etapas para identificação das áreas de expansão, adaptado de Lacerda e Santos (2010)

#### 4.1.1. Índice Normalizado de vegetação (NDVI).

Os índices de vegetação são importantes indicadores da qualidade ambiental, além de serem bastante utilizados nos estudos sobre o meio ambiente.

Rosa (2009), afirma que os índices de vegetação utilizam as faixas do vermelho e do infravermelho próximo por conterem mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação e, portanto, tais índices realçam o seu comportamento espectral, correlacionando-os com parâmetros biofísicos da mesma. Segundo Demarchi et al. (2011) as faixas espectrais correspondentes ao vermelho (0,65 a 0,72  $\mu\text{m}$ ) e azul (0,45 a 0,50  $\mu\text{m}$ ) são as mais aproveitadas pela folha na fotossíntese, pois os pigmentos da planta responsáveis por ela absorvem a radiação incidente nos comprimentos de onda 0,48  $\mu\text{m}$  (carotenoides) e 0,62  $\mu\text{m}$  (clorofila). Dessa forma, a refletância é muito baixa nestas faixas. Já na faixa do infravermelho próximo (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ), segundo Moreira (2001), a absorção da radiação eletromagnética é muito baixa (menos de 15%) e a refletância pode chegar a 50% dependendo da estrutura anatômica das folhas. De acordo com Knipling (1970), a radiação solar sofre difusão e dispersão através da cutícula e da epiderme das células do mesófilo e das cavidades de ar no interior da folha.

O índice de vegetação mais conhecido e utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI<sup>8</sup>). O NDVI é uma operação matemática que combina informação espectral de várias bandas numa única. A fórmula matemática é a seguinte:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Onde, NIR e RED – representam, respetivamente, os valores de refletância na região do infravermelho próximo e vermelho do espectro eletromagnético de objetos na superfície terrestre.

Elmore et al. (2000) afirmam que uma das desvantagens do índice NDVI está no facto deste ser altamente influenciado pelo brilho e pelo efeito espectral do solo, o que prejudica as avaliações sobre a vegetação. Suas análises mostram que a mesma mudança temporal na cobertura vegetal em solos com diferentes refletâncias no infravermelho próximo, devido às diferenças de brilho, provocam variações no valor NDVI.

Os resultados destes índices serão variações de  $-1$  a  $+1$ , em que os valores negativos correspondem a áreas de água, neve e nuvens, as áreas que apresentam valores próximo de zero correspondem a rochas e solo nu, e finalmente, os valores positivos correspondem a áreas com vegetação (Lillesand, T. et al., 2008).

---

<sup>8</sup> Normalized Difference Vegetation Index

Frequentemente existe a necessidade de realizar a mesma rotina de trabalho no ArcGIS, utilizando as mesmas ferramentas e seguindo os mesmos procedimentos, só que com o uso de base de dados diferentes. Na tentativa de agilizar mais ainda esses procedimentos no software, podemos criar um modelo automático (Model Builder) que realize essas funções. A Figura 19 mostra o modelo criado no ArcGIS para criar o NDVI.

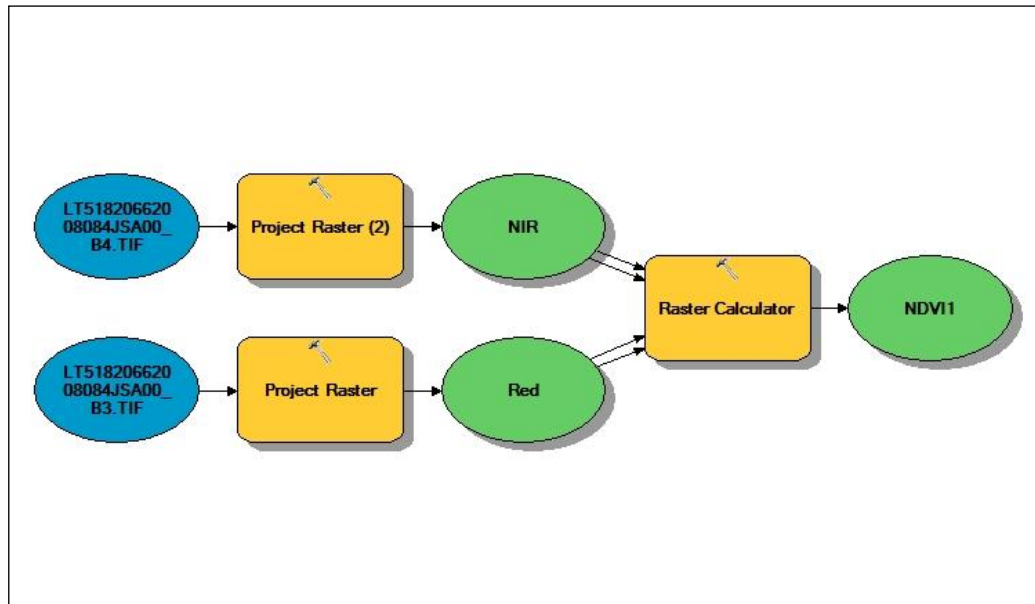


Figura 19-Model Builder para criar NDVI

Elaboração: Autor

A Figura 20 mostra resumidamente os procedimentos para criar um modelo de cálculo automático com base na ferramenta “Model Builder”.

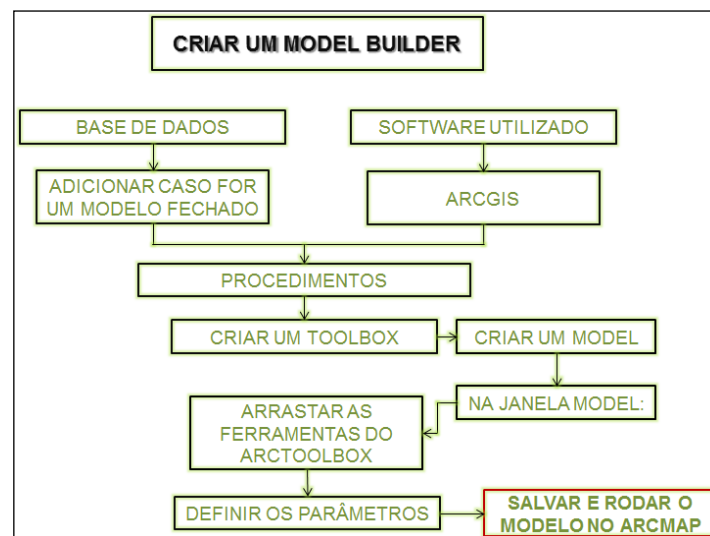


Figura 20-Métodologia para criar um Model Builder. Fonte: Silva, (2013)

#### 4.2. Análise Morfométrica da bacia hidrográfica da Samba.

Para a realização do segundo objetivo, a análise morfométrica da bacia hidrográfica da Samba, efetuamos os seguintes passos:

- o primeiro passo, consistiu na recolha de informação de base, ou seja, obtenção da carta militar de Luanda a escala de 1: 25 000, georreferenciada no sistema de coordenadas UTM zona 33 S, obtidas no I.G.C.A (Instituto Geográfico e cadastral de Angola);
- o segundo passo, consistiu na vectorização da carta militar, nomeadamente os pontos cotados e curvas de nível, porque não haviam disponibilidade de dados vetoriais. Nesta etapa foi utilizado o software ArcGis 10.0. Foi construída uma base de dados para armazenar as informações, cruzando dados a fim de gerar mapas temáticos;
- posteriormente, gerou-se o modelo digital de elevação, de acordo a Tabela 4, usando o ArcGis;

| Dados de base 1: 25 000   | Equidistância das curvas de nível | Dados utilizados                 | Resolução espacial do MDE |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Cartas militar de Luanda: Folhas 89-C-II, 89-C-IV, 89-D-I, 89-D-II, 89-D-III, 89-D-IV | 5 Metros                          | Curvas de nível e pontos cotados | 10 Metros                 |

Tabela 4- Dados de base

- finalmente, os passos seguintes consistiram em utilizar ferramentas que visam gerar rede hidrográfica e delimitação da bacia e sub-bacia. Tais ferramentas permitem remover grandes depressões existentes no MDE, elevando as células deprimidas para a cota aproximada das células vizinhas, como é o caso *do Fill* do *Hydrology* que se encontra no *Spatial Analyst Tools*, *do Flow direction* que define a direção da descida mais acentuada para cada célula no terreno, *do Flow Accumulation* que determina o número acumulado de células a montante de uma célula, *do Stream Link* que cria um tema de rede hidrográfica com base em limiares (em termos de números de células) impostos pelo operador e *do Watershed* que cria bacias/sub-bacias.

A rede de drenagem e bacia digitalizadas foram atualizadas através da vectorização, e obtendo assim uma imagem, mais fiel à realidade. A Figura 21 mostra as etapas seguidas na metodologia para a caracterização da bacia hidrográfica.

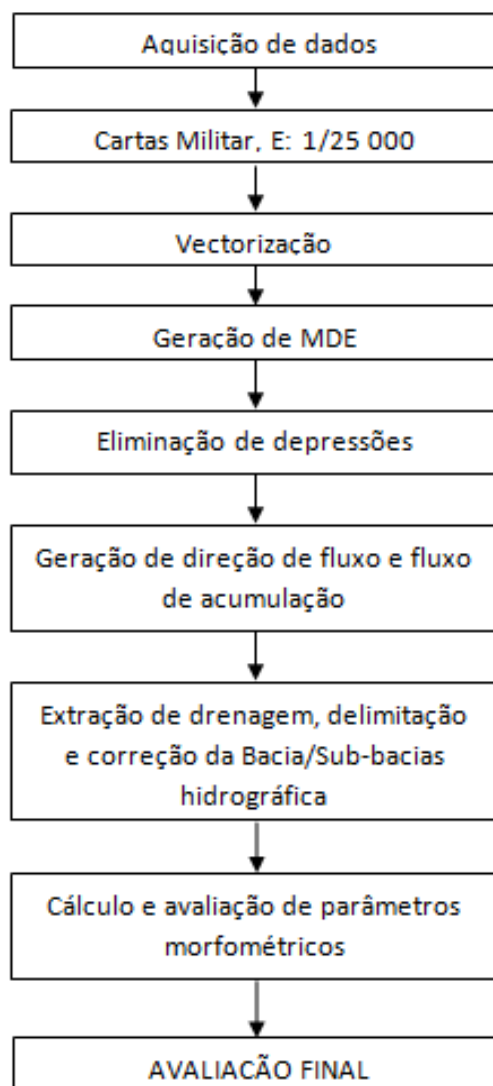


Figura 21-Esquema metodológico para caraterização da Bacia hidrográfica

#### **4.2.1. Morfometria da bacia e sub-bacias hidrográficas da Samba.**

A morfometria da bacia foi representada pelas características e pelos índices apresentados na Tabela 5. Para um estudo mais detalhado da bacia, foram delimitadas 4 sub-bacias, onde cada sub-bacia foi analisada individualmente (Figura 22). Utilizou-se o software ArcGis 10.0 para a obtenção automática das caraterísticas morfométricas da bacia e sub-bacias hidrográficas.

| Características geométricas      |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| Área total                       | Fator de forma               |
| Perímetro total                  | Índice de circularidade (IC) |
| Coefficiente de compacidade (Kc) | Padrão de drenagem           |
| Características do relevo        |                              |
| Declive mínimo                   | Altitude mínima              |
| Declive médio                    | Altitude média               |
| Declive máximo                   | Altitude máxima              |
| Caraterísticas da rede drenagem  |                              |
| Comprimento do canal principal   | Densidade de drenagem (Dd)   |
| Comprimento total dos canais     | Hierarquia fluvial           |

Tabela 5- Características morfométricas obtidas no estudo da bacia e sub-bacias hidrográficas

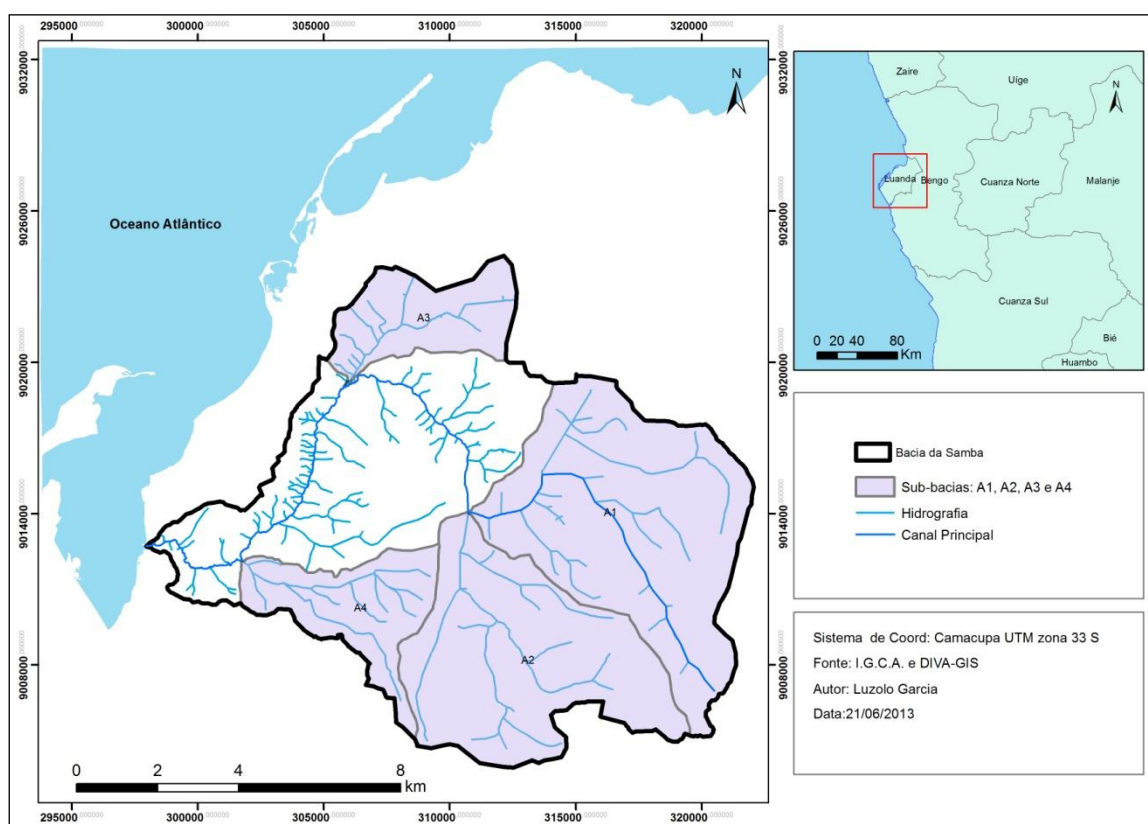


Figura 22-Sub-bacias e Bacia hidrográfica da ribeira da Samba.

## 5. Resultados e discussões.

### 5.1. Análise do uso do solo.

As Figura 23 e Figura 24 e as Tabela 6 e Tabela 7 mostram as classes de uso do solo da província de Luanda, bem como a área ocupada por cada classe, obtidas a partir da classificação supervisionada por máxima verossimilhança das imagens LandSat, nas datas de 14-06-2000 e de 01-08-2008.

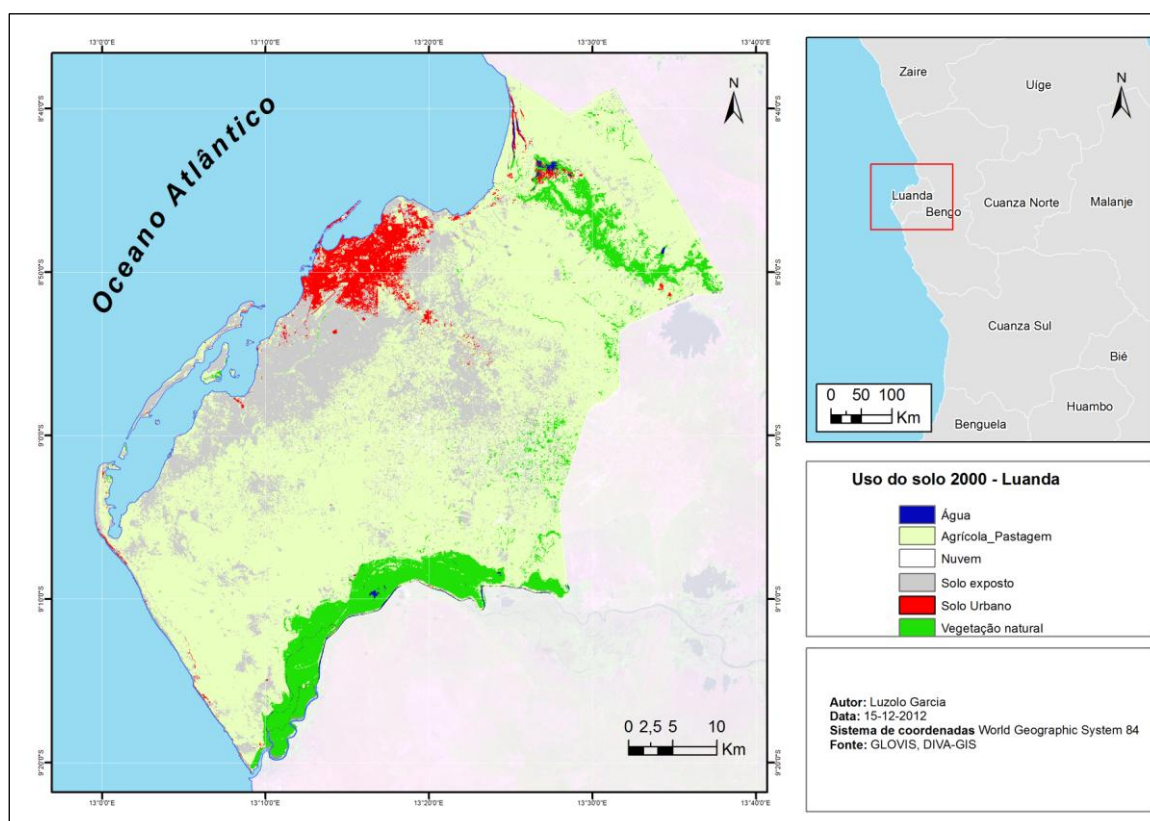


Figura 23-Luanda: Uso do solo em 14-06-2000.

| Tipo de solo      | Área (km <sup>2</sup> ) | %          |
|-------------------|-------------------------|------------|
| Agrícola/Pastagem | 1581,28                 | 64,63      |
| Água              | 20,18                   | 0,82       |
| Nuvem             | 54,87                   | 2,24       |
| Solo exposto      | 489,45                  | 20,00      |
| Urbano            | 87,79                   | 3,59       |
| Vegetação natural | 213,07                  | 8,71       |
| <b>Total</b>      | <b>2446,65</b>          | <b>100</b> |

Tabela 6-Luanda: área das classes de uso do solo em 14-06-2000.

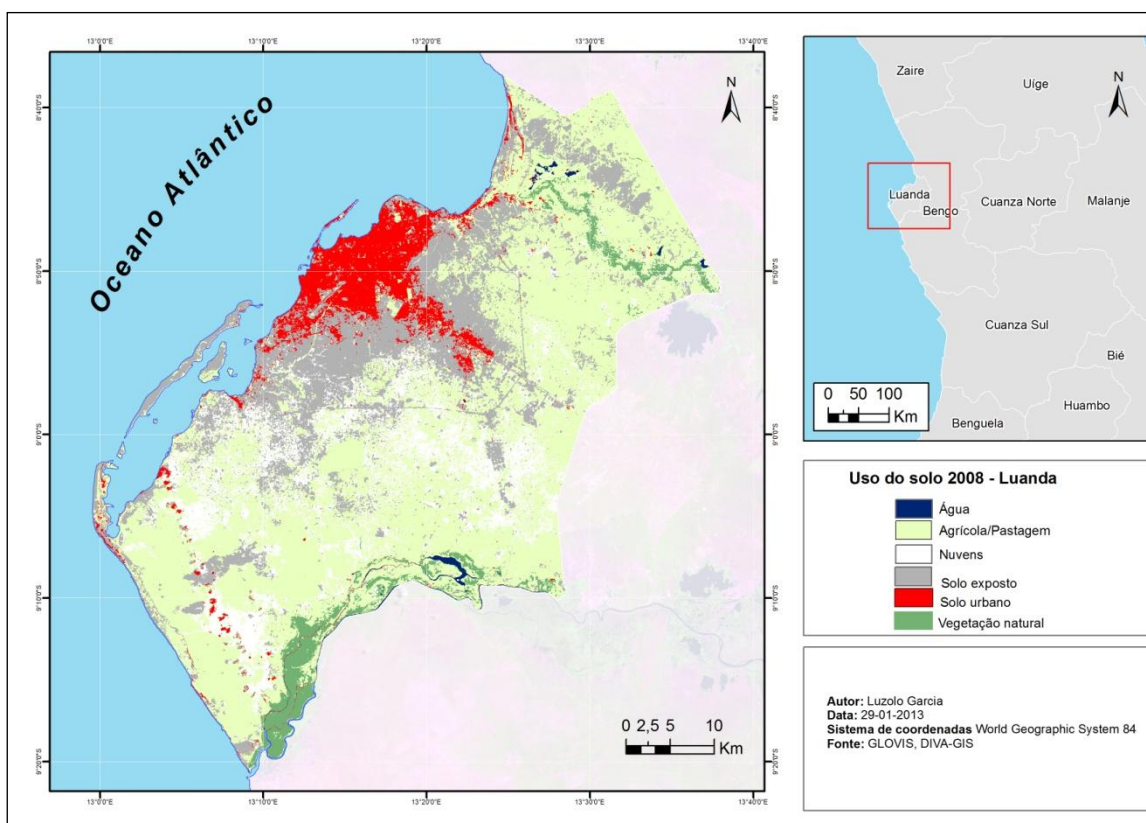


Figura 24-Luanda: Uso do solo em 01-08-2008.

| Tipo de uso do solo | Área (km <sup>2</sup> ) | %          |
|---------------------|-------------------------|------------|
| Agrícola/Pastagens  | 1283,46                 | 52,46      |
| Água                | 13,80                   | 0,56       |
| Nuvem               | 345,19                  | 14,11      |
| Solo exposto        | 532,86                  | 21,78      |
| Urbano              | 174,73                  | 7,14       |
| Vegetacao natural   | 96,62                   | 3,95       |
| <b>Total</b>        | <b>2446,65</b>          | <b>100</b> |

Tabela 7-Luanda: área das classes de uso do solo em 01-08-2008. Elaboração: Autor

A análise comparativa temporal entre as classes de uso do solo no período seco (maio a agosto) nas datas referenciadas, permite constatar alterações na sua configuração. Do período considerado, 2000 a 2008, houve um aumento na área de uso de solo urbano (de 3,59% para 7,14%) e reduções significativas nas áreas de vegetação natural (de 8,71%



para 3,95%) e área agrícola/pastagens (de 64,63% para 52,46%). Essas alterações são apresentadas no gráfico da Figura 25.

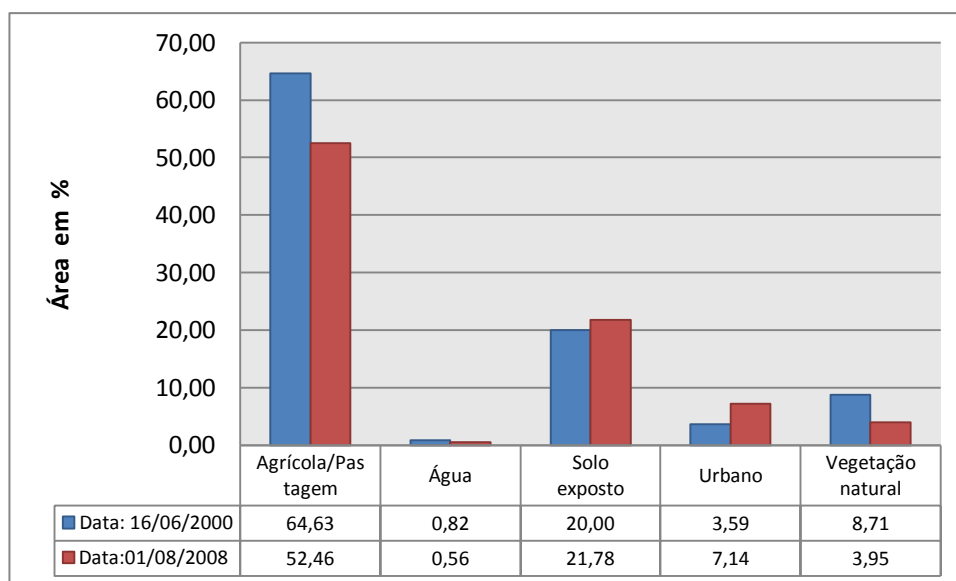


Figura 25-Área e tipo de uso do solo entre 2000 e 2008

É possível verificar nas Figura 23 e Figura 24 o aumento expressivo da mancha urbana nas regiões norte, este e sul da área de estudo. Os motivos que originam a expansão urbana descentralizada são originados por diversos fatores. Um dos principais fatores é que durante os anos de guerra civil, deslocaram-se de todo o país para as cidades, principalmente Luanda, muitas pessoas em busca de mais segurança. Desta forma, com este êxodo acelerado para a capital, Luanda sofreu um enorme aumento demográfico num período de tempo relativamente curto (Bettencourt, 2011).

Analisando a Tabela 8 pode-se verificar que os valores mínimos e máximos, do NDVI (Figura 26 e Figura 26), encontram-se dentro dos valores esperados, [-1,1] de acordo com Lillesand, T. et al. (2008). O desvio padrão é uma medida que só pode assumir valor não negativo e quanto maior for, maior será a dispersão dos dados<sup>9</sup>. Dado que o desvio padrão da imagem TM datada de 01 de agosto de 2008 é maior que do que a ETM+ do dia 14 de junho de 2000, (0,33 > 0,24), isso mostra que há maior variabilidade na imagem TM. Mas não se conclui que a imagem ETM+ não possui variabilidade, pois se o desvio padrão for igual a zero, não existirá variabilidade, isto é, os dados serão todos iguais.

<sup>9</sup> Nota extraída em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info120/120.html>

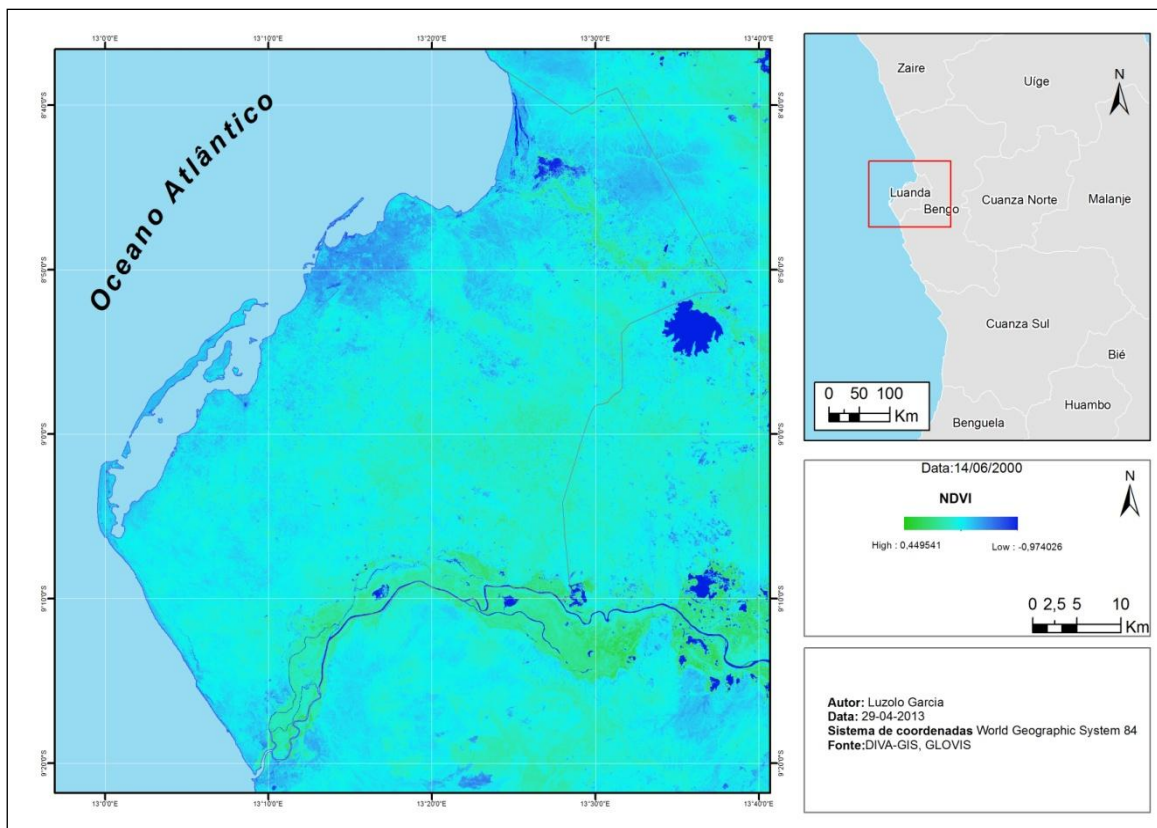


Figura 26-NDVI da imagem Landsat 7 ETM +

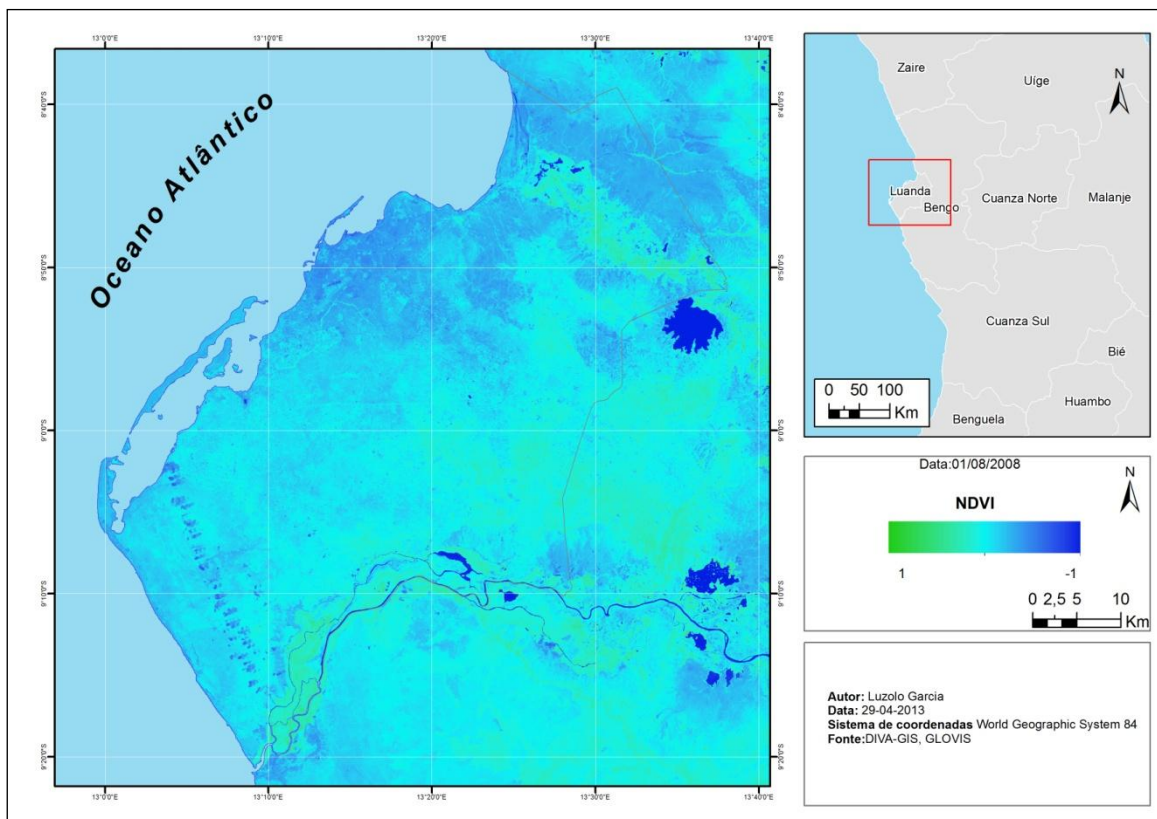


Figura 27-NDVI da imagem Landsat 5 TM

| Estatística               |         | Estatística                |         |
|---------------------------|---------|----------------------------|---------|
| Medidas de dispersão      | Valores | Medidas de dispersão       | Valores |
| Mínimo                    | -0,97   | Mínimo                     | -1      |
| Máximo                    | 0,45    | Máximo                     | 1       |
| Média                     | -0,12   | Média                      | 0,02    |
| Desvio Padrão             | 0,24    | Desvio Padrão              | 0,33    |
| Data: 14 de junho de 2000 |         | Data: 01 de agosto de 2008 |         |

Tabela 8-Análise estatística do NDVI nas imagens LandSat ETM+ e TM

## 5.2.Morfometria da bacia hidrográfica da Samba.

A área de drenagem e o perímetro da bacia da Samba são de 276,765 km<sup>2</sup> e 84,498 km, respectivamente (Tabela 9), existindo, desse modo, boas possibilidades de controle dos fatores hidrológicos que ali interferem.

| Características morfométricas                         | Valores                  |
|---|--------------------------|
| Área de drenagem (A)                                  | 276,765 Km <sup>2</sup>  |
| Perímetro (P)   | 84,498 Km                |
| Coefficiente de compacidade Kc ou índice de Gravelius | 1,422                    |
| Fator de forma (Kf)                                   | 0,176                    |
| Índice de circularidade (IC)                          | 0,729                    |
| Padrão de drenagem                                    | Dendrítica               |
| Declive mínimo  | 0%                       |
| Declive médio   | 1,23%                    |
| Declive máximo  | 241,97%                  |
| Altitude mínima                                       | 0,657026 m               |
| Altitude média  | 85,571 m                 |
| Altitude máxima                                       | 183,413 m                |
| Comprimento do canal principal (Lp)                   | 39,658 Km                |
| Comprimento total dos canais C                        | 245,773 Km               |
| Densidade de drenagem (Dd)                            | 0,8882km/km <sup>2</sup> |

Tabela 9- Valores das características morfométricas obtidas no estudo da bacia

A densidade de drenagem obtida foi de 0,8882 km/km<sup>2</sup>. Segundo Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup>, em bacias com drenagens pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais, nas bacias excecionalmente bem drenadas, indicando, portanto, que a bacia em estudo apresenta baixa capacidade de drenagem superficial. Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação.

O sistema de drenagem, de acordo com a hierarquia de Strahler (1980), apresentou grau de ramificação de quarta ordem (Figura 28). Ordem inferior ou igual 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas e reflete os efeitos diretos do uso do solo; considera-se que, quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem. Este estudo é importante, pois indica a maior ou menor velocidade com que a água abandona a bacia hidrográfica.

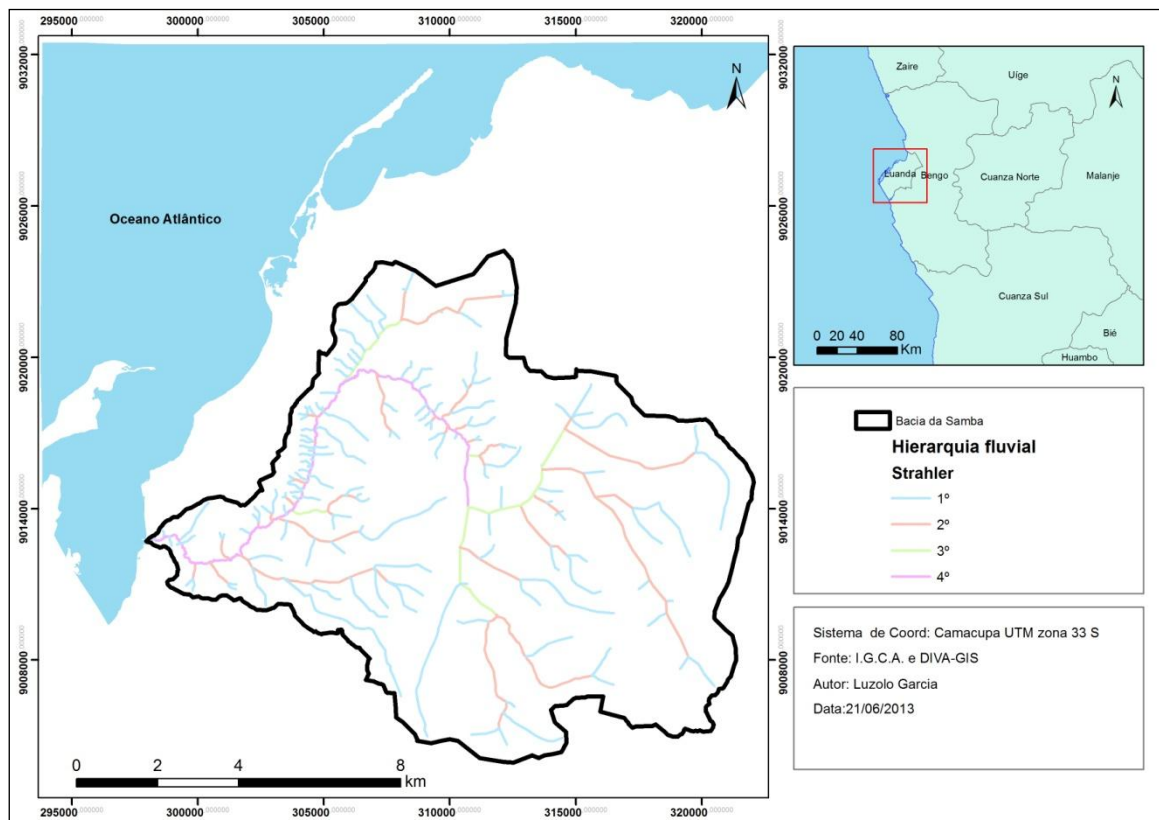


Figura 28-Hierarquia fluvial da Bacia da Samba

Na Tabela 10 é apresentada a hierarquia da bacia da Samba com o número de segmentos de canais para cada ordem, o seu comprimento total e a relação de bifurcação. Os valores da relação de bifurcação indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indicam relevo com colinas. Percebeu-se, por meio da relação de bifurcação que o número de canais aumenta em média 4 a 5 vezes ao passar de uma ordem inferior para uma superior, chegando a ser 6 vezes na transição dos canais de 2ª para os de 3ª ordem, o que permite fazer algumas inferências com respeito às características das rochas, ao grau de resistência destas frente ao entalhamento dos canais, à inclinação das encostas, ao escoamento superficial e infiltração da água bem como ao condicionamento das estruturas geológicas no desenvolvimento da rede de canais.

| Ordem (Strahler) | Número de segmentos | Extensão (Km) | Índice de Bifurcação |
|------------------|---------------------|---------------|----------------------|
| 1                | 145                 | 140,009       | 4,265                |
| 2                | 34                  | 65,446        | 6,8                  |
| 3                | 5                   | 16,369        | 5                    |
| 4                | 1                   | 23,949        | -                    |
| Total            | 185                 | 245,773       |                      |

Tabela 10-Segmentos dos canais da bacia por ordem hierárquica

A bacia da ribeira da Samba apresenta um coeficiente de compacidade de 1,422 e um baixo fator de forma de 0,176. Isto indica que a bacia é bastante irregular e um pouco alongada, dado que o índice de circularidade é 0,729. Valores de índice de circularidade menores que 0,51 sugerem que uma bacia a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento (Muller, 1953 & Schumm, 1956). Em bacias com forma circular, há maiores probabilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (cheias rápidas), o que não ocorre em bacias alongadas.

O padrão de drenagem característico da bacia da ribeira da Samba é o dendrítico porque em seu desenvolvimento assemelha-se a configuração de uma árvore. No entanto, o padrão dendrítico (anastomosado) é característico das planícies de inundação, consistindo de canais que se bifurcam e se confluem de maneira aleatória (Christofoletti, 1980).

A altitude na bacia da Samba variou de 0,657 a 183,413 metros sendo a altitude média de 85,571 metros (Figura 29). De acordo com Castro e Lopes (2001) a altitude média influencia a quantidade de radiação que ela recebe e, consequentemente, influencia a evapotranspiração, temperatura e precipitação.

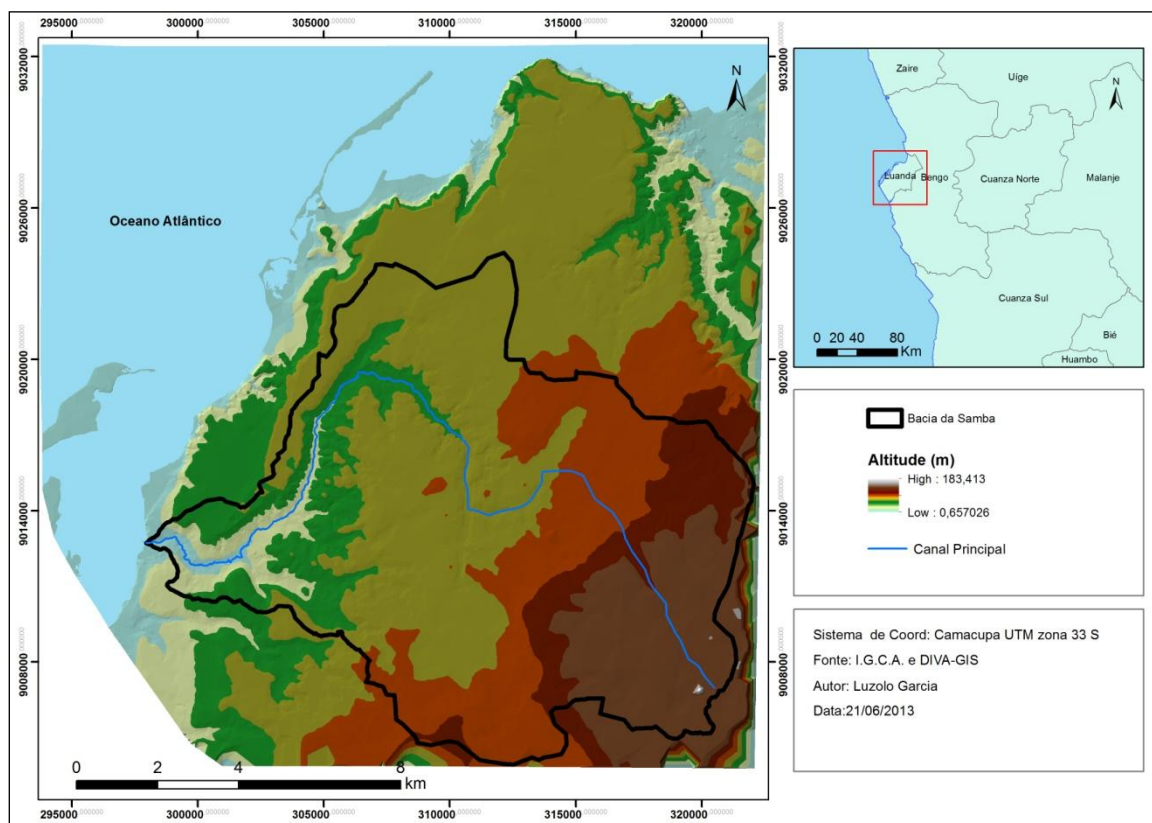


Figura 29-Hipsometria da bacia da ribeira da Samba

A partir de dados altimétricos da bacia da Samba, obteve-se o perfil longitudinal do canal principal, da nascente à foz ( Figura 30).

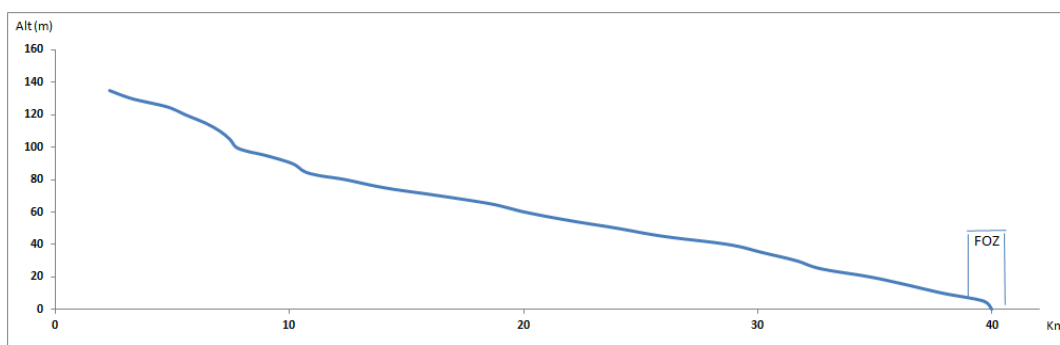


Figura 30-Perfil longitudinal do canal principal da bacia da Samba, da nascente a foz.



O declive médio encontrado na bacia hidrográfica foi de 1,23 %, sendo esse valor coerente com o relevo plano (Figura 31).

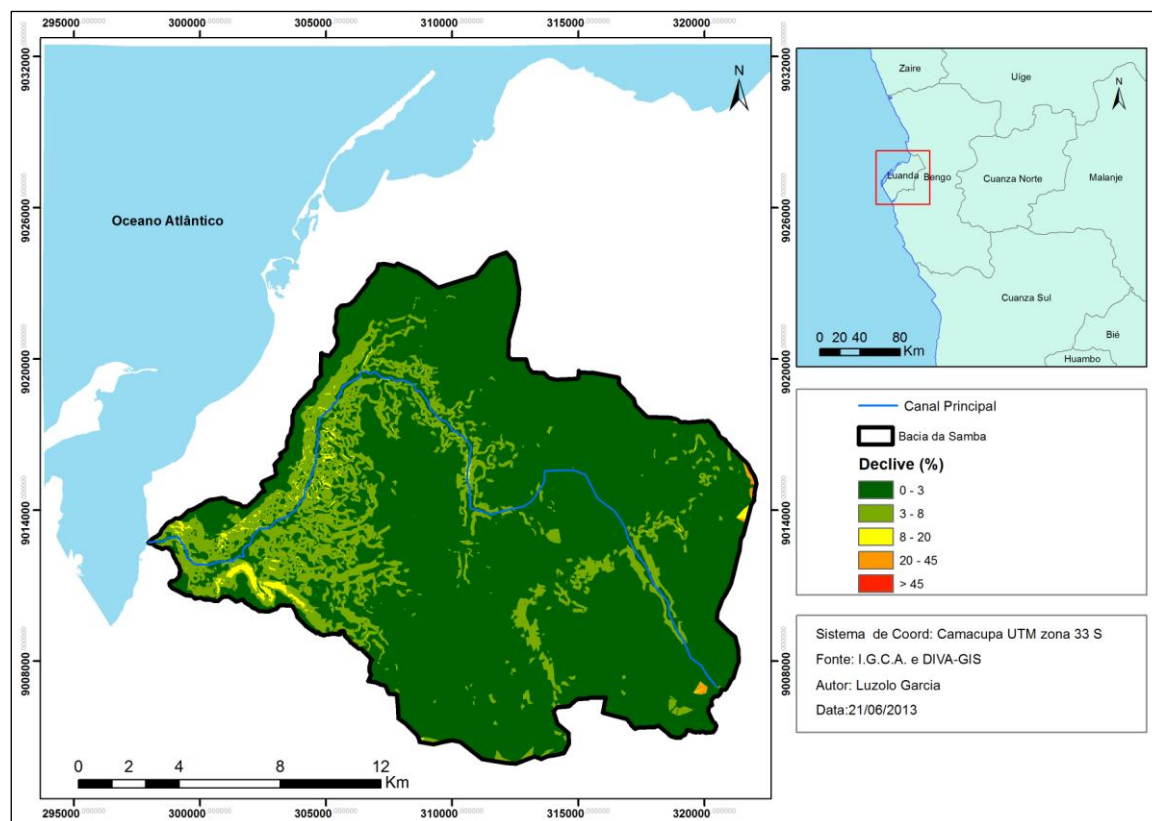


Figura 31-Declives da bacia da ribeira da Samba

A Tabela 11 apresenta a reclassificação do declive em cinco classes. Observa-se também nessa tabela que grande parte do relevo da bacia correspondeu ao plano (0 – 3%), representando 82% da área total da bacia. O declive médio de uma bacia hidrográfica é relevante no planeamento. Segundo Tonello et al. (2006) a ausência de cobertura vegetal, tipo de solo e intensidade de chuvas, dentre outros, associada ao maior declive, conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em cheias mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação. O resultado do declive obtido contraria esta observação.

| Declive | Descriminação  | Área (km <sup>2</sup> ) | %        |
|---------|----------------|-------------------------|----------|
| 0 - 3   | Plano          | 227,002                 | 82,02006 |
| 3 - 8   | Suave plano    | 46,829                  | 16,92019 |
| 8 - 20  | Ondulado       | 2,529                   | 0,913775 |
| 20 - 45 | Forte ondulado | 0,389                   | 0,140553 |
| > 45    | Montanhoso     | 0,015                   | 0,00542  |
| Total   |                | 276,764                 | 100      |

Tabela 11-Classes de declive da bacia da ribeira da Samba, adaptação de Tonello (2006)

Na sequência, são apresentados os resultados dos métodos para estimar o tempo de concentração da bacia da Samba, conforme descrito na metodologia (Tabela 12).

| Fórmulas    | Tempo de concentração (horas) |
|-------------|-------------------------------|
| Kirpich     | 1,041                         |
| Temez       | 4,728                         |
| Vem Te Chow | 6,249                         |

Tabela 12- Resumo dos tempos de concentração

O menor valor de tempo de concentração foi estimado, portanto, a partir da equação de Kirpich (1,041 hora), seguido do valor estimado de Temez. A equação de Kirpich é a mais utilizada para calcular o tempo de concentração, tendo como vantagens sua simplicidade de uso e a baixa complexidade de informação requerida (Júnior et al., 2012). O valor do caudal de ponta de cheia obtida, aplicando a fórmula empírica de Pagliaro, foi de 2188 m<sup>3</sup>/s.

### 5.2.1. Morfometria das sub-bacias da Samba.

As características morfométricas das sub-bacias da Samba são apresentadas na Tabela 13. Em termos de densidade de drenagem, as quatro sub-bacias apresentam deficiências de drenagem, conforme os baixos índices. Com relação a forma das sub-bacias, todas exibiram formas alongadas, o que pode ser comprovado pelos valores obtidos do coeficiente de compacidade e fator de forma, indicando menor concentração de água da chuva, não estando assim, sujeitas a cheias.

| Características morfométricas            | Sub bacia A1             | Sub bacia A2             | Sub bacia A3             | Sub bacia A4             |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Área de drenagem (A) (km <sup>2</sup> )  | 81,788                   | 65,112                   | 22,253                   | 25,144                   |
| Perímetro (P) (Km)                       | 42,883                   | 39,707                   | 23,619                   | 30,089                   |
| Coefficiente de compacidade (Kc)         | 1,328                    | 1,378                    | 1,402                    | 1,68                     |
| Fator de forma (Kf)                      | 0,331                    | 0,442                    | 0,291                    | 0,285                    |
| Declive mínimo                           | 0                        | 0                        | 0                        | 0                        |
| Declive médio                            | 0,906                    | 1,065                    | 0,808                    | 2,227                    |
| Declive máximo                           | 2,419                    | 0,09                     | 0,187                    | 0,166                    |
| Altitude mínima                          | 65,098 m                 | 70 m                     | 45 m                     | 19,415 m                 |
| Altitude média                           | 107,520 m                | 100,977 m                | 72,049 m                 | 65,823 m                 |
| Altitude máxima                          | 183,413 m                | 140,318 m                | 80,902 m                 | 105 m                    |
| Comprimento do canal principal (Lp) (Km) | 15,709                   | 12,136                   | 8,745                    | 9,394                    |
| Comprimento total dos canais C           | 57,214 Km                | 42,164                   | 19,569 Km                | 28,216 Km                |
| Densidade de drenagem (Dd)               | 0,699 Km/km <sup>2</sup> | 0,648 Km/km <sup>2</sup> | 0,879 Km/km <sup>2</sup> | 1,122 Km/km <sup>2</sup> |

Tabela 13-Valores das caraterísticas morfométricas das sub-bacias da bacia da ribeira da Samba.



Em termos de declive médio, os valores variam de 0,808 a 2,227 % representando um relevo plano. Há um destaque da sub-bacia A4, que apresentou maior valor de declive médio (2,227 %), esperando-se maior escoamento superficial nessa sub-bacia, em comparação com as demais (A1, A2 e A3).

O declive médio do curso do canal principal é outro aspeto relevante da morfometria, pois interfere na velocidade do escoamento da água no curso, como demonstrado na Tabela 14. Nota-se na tabela que os declives são bastante fracos, indicando menor escoamento de água nessas sub-bacias e maior tempo de permanência da água. Na bacia hidrográfica da Samba, o valor encontrado também foi menor, 0,003 m/m.

| Sub-bacias | Zi   | Zf | Diferença de nível | Declive m/m | %     |
|------------|------|----|--------------------|-------------|-------|
| A1         | 135  | 70 | 65                 | 0,004       | 0,414 |
| A2         | 95   | 70 | 25                 | 0,002       | 0,206 |
| A3         | 79   | 45 | 34                 | 0,004       | 0,389 |
| A4         | 87,5 | 20 | 67,5               | 0,007       | 0,719 |

Tabela 14-Declive médio dos canais principais nas sub-bacias da bacia da Samba

## 6. Conclusões

No sentido de avaliar as mudanças na mancha urbana da província de Luanda num período de grande crescimento em função do intenso processo de ocupação ordenado e desordenado do solo, foi feita a análise da evolução do solo, com enfoque na mancha urbana, entre o período 2000 a 2008, utilizando as imagens do satélite Landsat.

Percebe-se que a ferramenta de detecção remota possibilita uma análise eficiente para o estudo do uso e ocupação do solo, mostrando que a metodologia adotada neste trabalho demonstrou bons resultados, comprovando o crescimento da mancha urbana da província de Luanda. Os resultados obtidos com a aplicação da técnica indicaram que no período em análise a mancha urbana cresceu, passando de 87,79 km<sup>2</sup> em 2000 para 174,73 km<sup>2</sup> em 2008. Como era de esperar, enquanto cresceu a área urbana, a área não urbana (solo expostos, vegetação natural e área agrícola) diminuiu, passando de 2283,3 km<sup>2</sup> em 2000 para 1912,94 km<sup>2</sup> em 2008.

Portanto, foi constatado que a expansão que ocorre na província de Luanda implica um aumento da vulnerabilidade sócio-ambiental no território. A forma de ocupação do espaço urbano e a expansão de Luanda e das suas áreas periféricas revelam a falta de controlo no ordenamento do território e são o reflexo do não cumprimento da legislação e de políticas de gestão urbana.

A utilização de técnicas de detecção remota mostrou-se eficiente neste trabalho de monitoramento da expansão urbano, comprovado pelos resultados obtidos, afirmando assim a sua utilidade como instrumento de estudo do espaço urbano. As dificuldades encontradas na análise das imagens de satélite mostraram-se principalmente no processo de classificação destas, devido a heterogeneidade do ambiente urbano e ao comportamento espectral de alguns alvos da natureza serem muito semelhantes aos existentes em áreas urbanas.

Com a análise de alguns parâmetros e índice morfométrico da bacia hidrográfica da Samba permitiu-nos saber ao certo que é uma bacia pouco favorável à ocorrências de cheias. Mas, o fraco declive, que provoca uma diminuição da velocidade de escoamento, e a evolução do solo nos períodos de 2000 a 2008 (conforme a Tabela 15 e as Figura 32 e Figura 33), potencia-a a ocorrência de cheias e o aumento das pontas de cheias.

| Bacia da Samba       |        |                  |
|----------------------|--------|------------------|
| Uso do solo 2000     |        | Uso do solo 2008 |
| Tipo de solo         | %      | %                |
| Urbana               | 7,025  | 16,249           |
| Vegetação natural    | 0,135  | 0,005            |
| Nuvens               | 2,292  | 15,380           |
| Solo exposto         | 50,956 | 48,599           |
| Agrícola e Pastagens | 39,592 | 19,765           |
| Total                | 100    | 100              |

Tabela 15-Evolução do uso do solo entre 2000 e 2008

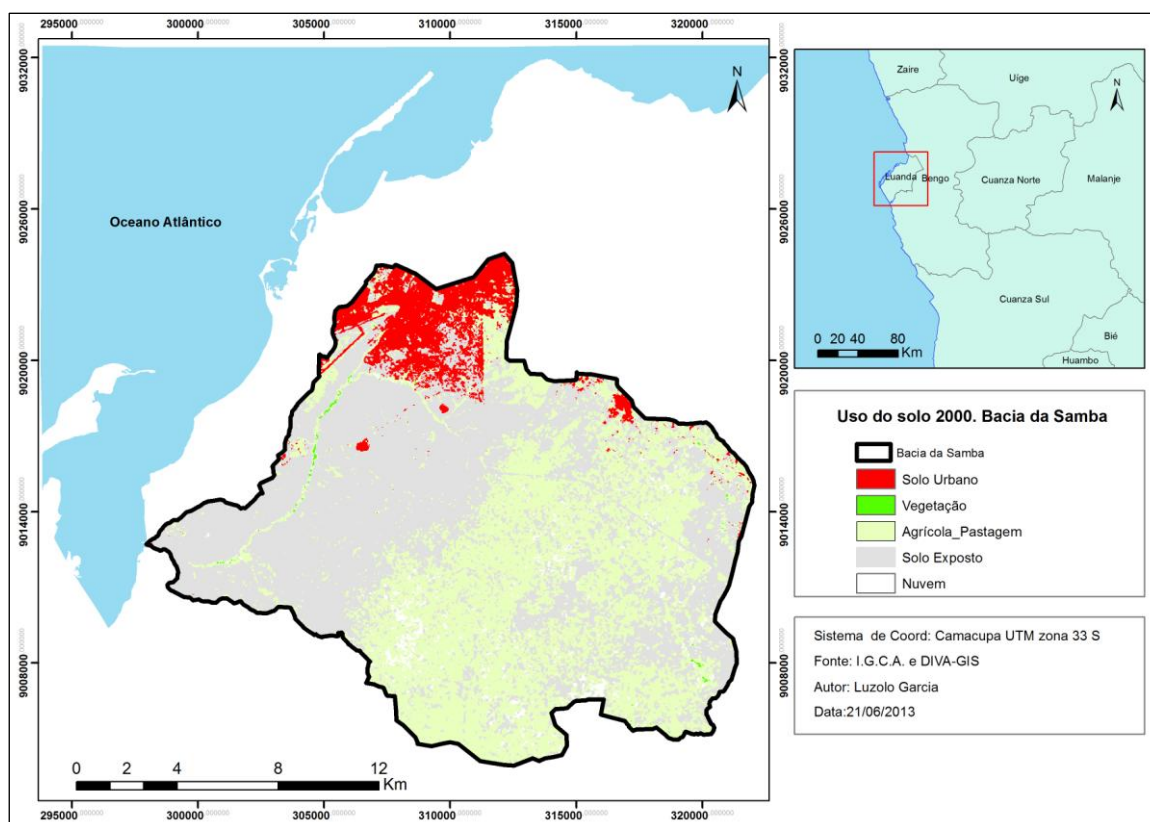


Figura 32-Uso do solo 2000 da bacia da Samba

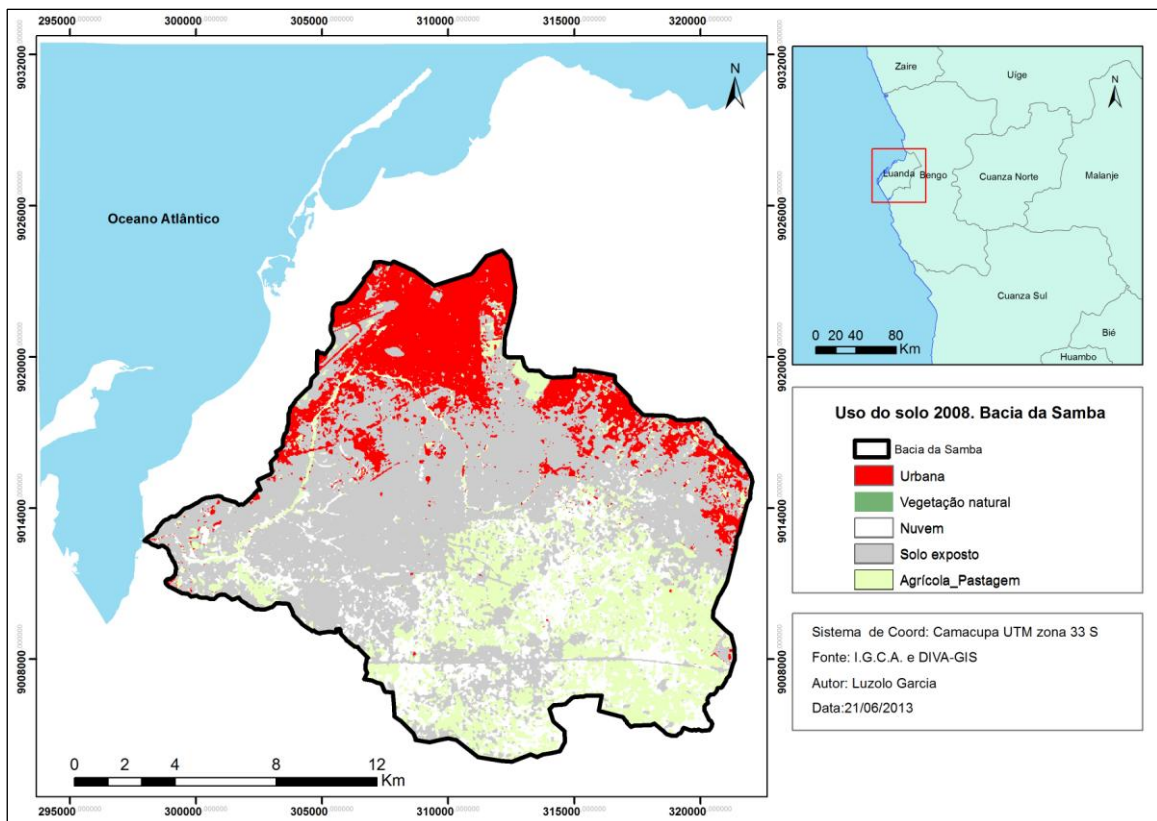


Figura 33-Uso do solo 2008 da bacia da Samba

A morfometria diferenciada entre as sub-bacias, principalmente em termos de declive, declive médio do canal principal, indica um provável comportamento hidrológico também diferenciado, o que evidencia a necessidade de uma análise específica de cada uma dessas sub-bacias.

Estas ferramentas (de análise espacial) produzem sem dúvida resultados visíveis, de fácil compreensão, constituindo um grande apoio à tomada de decisão dos responsáveis pelo ordenamento do território, como por exemplo, para a elaboração de instrumentos de gestão territorial.

O software utilizado é adequado para a realização deste tipo de atividades, permitindo uma fácil digitalização das áreas urbanas e uma verificação muito rápida da cartografia produzida.

### **6.1.Limitações e sugestões**

Foram muitos os entraves encontrados ao longo da realização deste trabalho, desde a inexistência de modelo pré- concebido e validado que pudesse ser adotado no nosso estudo de caso. Desta forma o modelo espacial utilizado centrou-se na análise de estudos de áreas diferentes. Um outro fator adverso foi a inexistência de cartografia atualizada. A informação disponível data de 1989.

Na primeira fase de aquisição de dados, encontramos vários obstáculos. Não havia dados para uma análise do crescimento urbano. Contudo, recorreu-se a imagens grátis de satélites com resoluções baixa mas que serviu como informação de base para o primeiro objetivo. Felizmente, o resultado mostrou-se satisfatório.

A segunda fase do estudo foi a mais morosa uma vez que foi necessária a vectorização de quatro cartas topográficas, das seis obtidas, à escala de 1: 25 000. Devido a inexistência de trabalhos nesta área de estudo, a metodologia empregue centrou-se na análise de estudos de áreas diferentes. Logo, foi adotada a metodologia base destes modelos, mas adaptado a realidade de Luanda. Toda metodologia utilizada para obter os resultados foi efetuada através de processos automáticos baseados nos mesmos pressupostos. Com essa automatização do processo, o mesmo estudo poderá ser aplicado a outras áreas de Luanda.

Existem variáveis a ter em conta aquando de estudos vindouros. Por exemplo, na aplicação de método de pré-determinação dos caudais de ponta de cheia, haverá necessidade de se ter dados de intensidade de precipitações diárias, no caso da fórmula racional, que não nos foi possível determinar por inexistência de dados. Os dados, num estudo futuro, deverão ser o mais atualizados possível de forma a tornar mais credíveis os resultados obtidos, visto que a base desta análise morfométrica é o modelo digital de elevação e esta depende, da viabilidade da informação cartográfica de base utilizada.

Fundamentalmente conclui-se que este estudo comprovou a capacidade que a análise espacial nos faculta a partir do momento em que, apesar de informação ser escassa, nos permite cumprir com os nossos objetivos.

## Bibliografia

- Amaral, Ilidio do. (1968). Luanda- estudo de Geografia Urbana- Memória da Junta de Investigação do Ultramar. nº 53.
- Bettencourt, Andrea Carina de Almeida. (2011). Qualificação e reabilitação de áreas urbanas críticas-Os musseques de Luanda. (Mestrado), universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Brites, R. S., Soares, V. P., & Ribeiro, C. A. A. S. (1996). Comparação de desempenho entre três índices de exatidão aplicados a classificação de imagens orbitais. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 8.
- Castro, P., & Lopes, J. D. S. (2001). Recuperação e conservação de nascentes (pp. 84).
- Christofolletti, Antonio. (1980). Geomorfologia E. Blucher (Ed.) (pp. 188).
- Costa, P. (1986). Estudos de homenagem a Mariano Feio: As cheias rápidas de 1967 e 1983 na região de Lisboa. 13.
- Demarchi, Julio Cesar, Piroli, Edson Luís, & Zimback, Célia Regina Lopez. (2011). Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do rio Pardo-SP usando imagens LandaSat-5. 38.
- Elmore, A. J. (2000). Quantifying vegetation change in semiarid environment: precision and accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference vegetation Index. Remote Sensing of Environment. 73, 15.
- Ferreira, C. C. M. (1997). Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. (Mestrado), UFV, Viçosa.
- Foster, BC. (1985). An examination of some problems and solutions in urban monitoring from satellite platforms. International Journal of Remote Sensing 6.
- García, Mauricio Labrador, Brondo, Juan Antonio Évora, & Pérez, Manuel Arbelo. (2012). Satélites para detenção remota aplicada à gestão territorial G. Consejería de Agricultura, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias (Ed.) (pp. 65).
- Guilcher, Andre. (1979). Précis d'hydrologie marine et continentale, Paris.
- Horton, E. Robert. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bulletin, 100.
- Júnior, Hélio Carrero de Almeida, Santos, Alexandre Rosa dos, Mendes, Sérgio Lucena, Eugenio, Fernando Coelho, & Tuler, Thiago de Oliveira. (2012). Evolução da Fragmentação de Mata no município de Santa Maria de Jetibá Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais (pp. 68-82). Alegre-Espírito Santo-Brasil.
- Knipling, E. B. (1970). Physical and Physiological for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote sensing of Environment. 1, 4.
- Lacerda, Alberto Franco, & Santos, Clara. (2010). Avaliação da Expansão Urbana com imagens de satélite. Retrieved 20-01-2013, 1988, from <http://mundogeo.com/blog/2010/12/15/avaliacao-da-expansao-urbana-no>

- Lee, D. R., & Salle, G. T. (1970). A method of measuring shape. *Geographical Review*, 8.
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (1984). *lições de Hidrologia* (edição Ed.).
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (2010). *Lições de Hidrologia* (3ª edição revista ed.).
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W, & Chipman, J. W. (2003). *Remote sensing and Image Interpretation*. New York.
- Lillesand, Thomas, Kiefer, Ralph W., & Chipman, Jonathan. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*.
- Madeira, Cristina. (2005). Cheias e Inundações do rio Tejo em Abrantes. 13.
- Malva, Filomena. (1999). Luanda.
- Meneses, Paulo Roberto, & Almeida, Tati de. (2012). *Introdução ao Procesamento de imagens de sensoriamento remoto* (pp. 266).
- Miguel, G., Rebollo, L. F., & Martín-Loeches, M. (2002). *Caracterização hidrogeológica preliminar de Luanda e Arredores* (Angola). 4.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Technical Report, Dept Geology.
- Muller, C. V. (1983). A quatitative geomorphic study of drainage dasins characteristic in the Clinch Mountain area (Technical ed.): Department of Geology, Columbia University.
- Novo, E. M. L. M. (1992). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações* (E. Blucher Ed.). São Paulo.
- Ramos, C. (Cartographer). (2005). *programa de Hidrogeografia*.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing digital Image Analysis* (Springer Ed.). New York.
- Rosa, R. (2009). *Introdução ao sensoriamento remoto*. Uberlândia:EDUFU.
- Sabins, F. F. (1997). *Remote Sensing. Principles and Interpretation*.
- Salinero, E. C. (2007). *Teledetección Ambiental*. (E. Ariel Ed.). Barcelona.
- Scheidegger, Adrian E. (1965). the algebra of stream order numbers. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 2.
- Schum, S. A. (1956). Evolution of drainage system and slopes in badlands of Perth Amboy. *Bulletin of Geological Society of America*, 49.
- Shreve, Ronald L. (1966). Statistical law of stream numbres. *Journal of geology*, 74, 20.
- Shreve, Ronald L. (1967). Infinite topologically random channel networks. *Journal of geology*.
- Silva, Ana Lúcia Gonçalves da, & Francisco, Cristiane Nunes. (2002). *Descrição dos principais sistemas sensores orbitais em operação*. 10.
- Silva, Vanessa Cecília Benavides. (2013). *Criando um Model Builder no ArcGIS*. Retrieved from <http://andersonmedeiros.com/como-criar-model-builder-no-arcgis/#comment-57963>
- Silveira, A. P. Brum da. (2002). *Neotectónica e Sismotectónica de um sector do Alentejo Oriental*. (Doutoramento), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

- Strahler, Arthur N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geol. Soc. America Bulletin, 63.
- Tonello, Kelly Cristina, Dias, Herly Carlos Teixeira, Souza, Agostinho Lopes de, Alvares, Carlos Antonio, Ribeiro, Soares, & Leite, Fernando Palha. (2006). Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões-MG. 9.
- Torres, J. L. R., & al. (2007). Diagnósticos socioeconômico, ambientais e avaliação das características morfométricas da microbacia do córrego Alegria. 13.
- Villela, S. M., & Mattos, A. (1975). Hidrologia Aplicada. São Paulo-Brasil.
- Zahn, C. E. (1983). O processo de urbanização: características e evolução. Questões de organização do espaço regional. São Paulo: Nobel: In: Bruna, G. (org).
- Zêzere, J. L., Perreira, A. R., & Morgado, P. (2006) Perigos Naturais e tecnológicos no Território de Portugal Continental. In s. investigação (Series Ed.), (pp. 17). Lisboa.

### **Legislação**

- Lei n.º 29/11 de setembro;
- Lei 2030 de 1948 foi a base da lei de terras;
- Regulamento da Ocupação e Concessão de Terrenos nas províncias Ultramarinas, publicado no Decreto nº 43.894, de 6 de setembro de 196;
- Lei nº 21-C/92 de 28 de Agosto, sobre a Concessão da Titularidade, do uso e aproveitamento da terra;
- Decreto-Lei nº 32/95, de 8 de Dezembro;
- Decreto-Lei 46-A/92 - Direito de Concessão aos Governos Provinciais das áreas urbanas;
- Plano de Gestão do Crescimento Urbano da Cidade de Luanda de 1995/1997
- Lei de terras, Lei nº 9/04, homologada pelo Presidente da República em 9 de novembro, estabelece que a terra constitui propriedade do Estado e que o seu uso pode ser transmitido para pessoas singulares ou coletivas.

### **Endereços eletrónicos**

- <http://www.minhaangola.org/#/luanda/4532148274>
- <https://www.youtube.com/watch?v=bO3S93YCKKU>
- <http://www.youtube.com/watch?v=zRMmMXq164A>
- <http://www.ipgul.org/divisao.php>



## **Anexos**

## Anexo 1

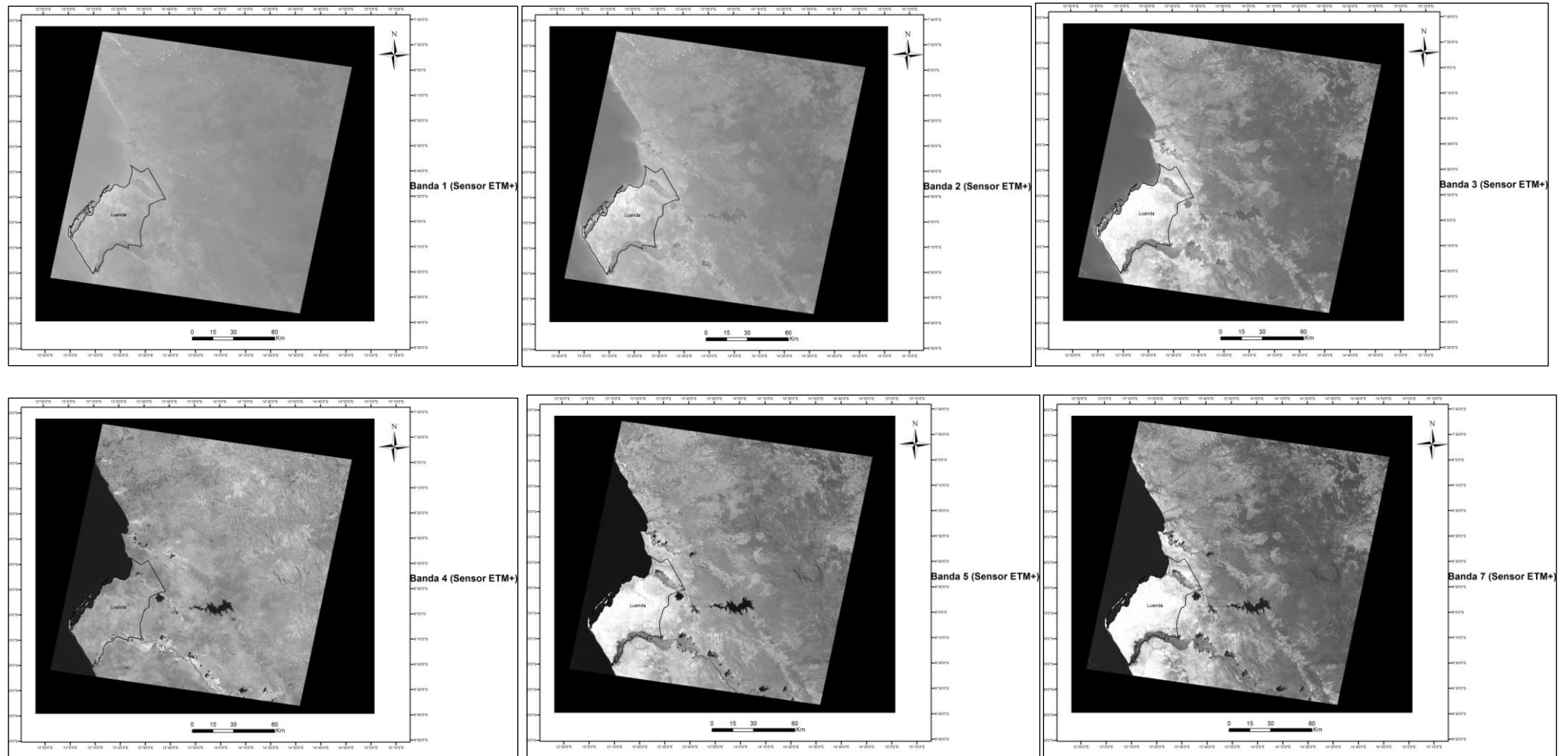


Figura 34-Imagens bruta dos Sensores ETM+ da área de estudo

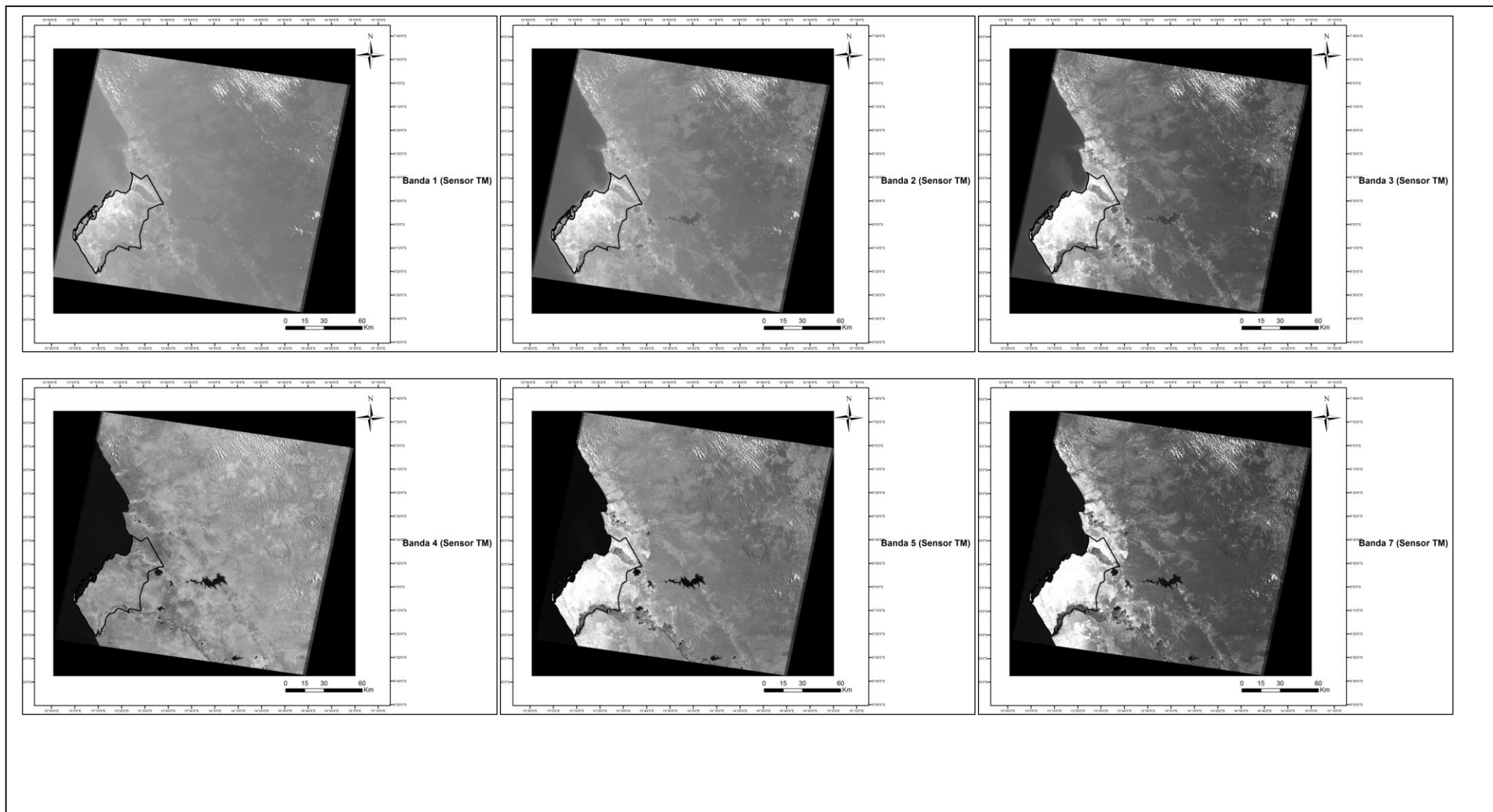


Figura 35-Imagens bruta dos Sensores TM da área de estudo

## Anexo 2

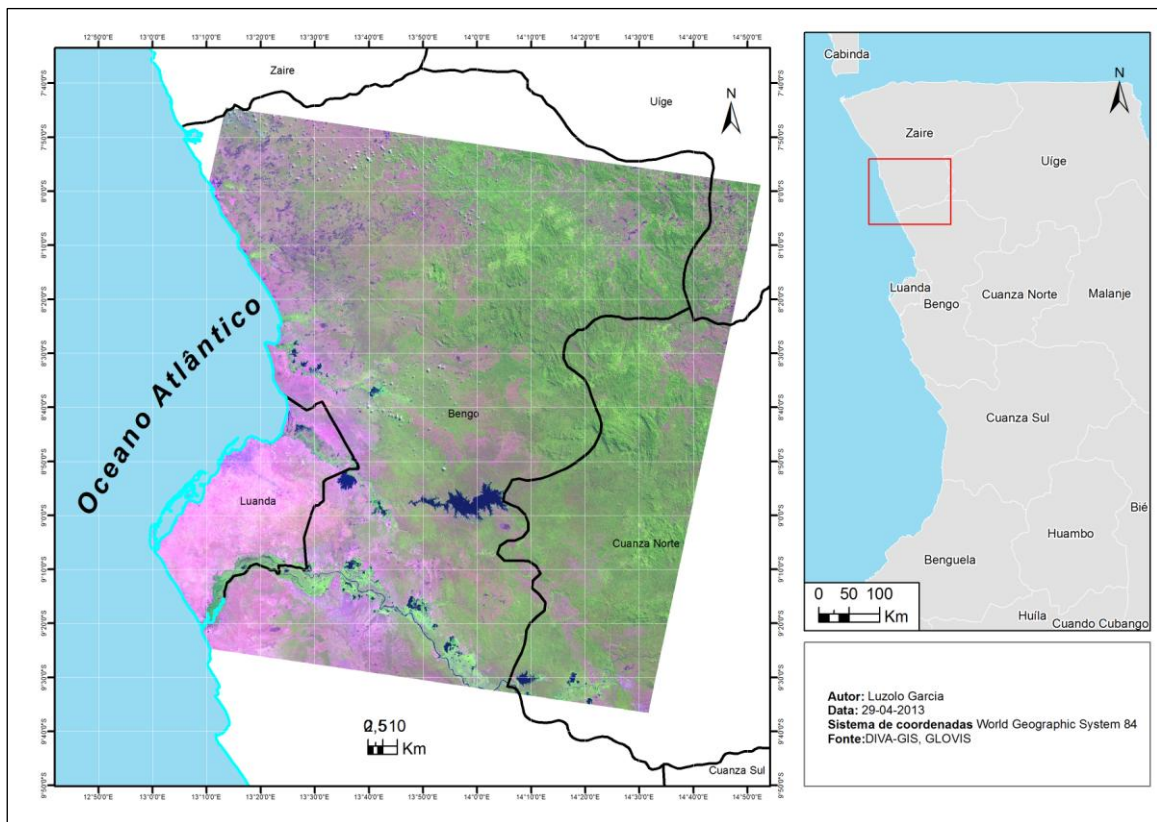


Figura 36-Composição colorida 543RGB (Sensor ETM+) da área de estudo

## Anexo 3

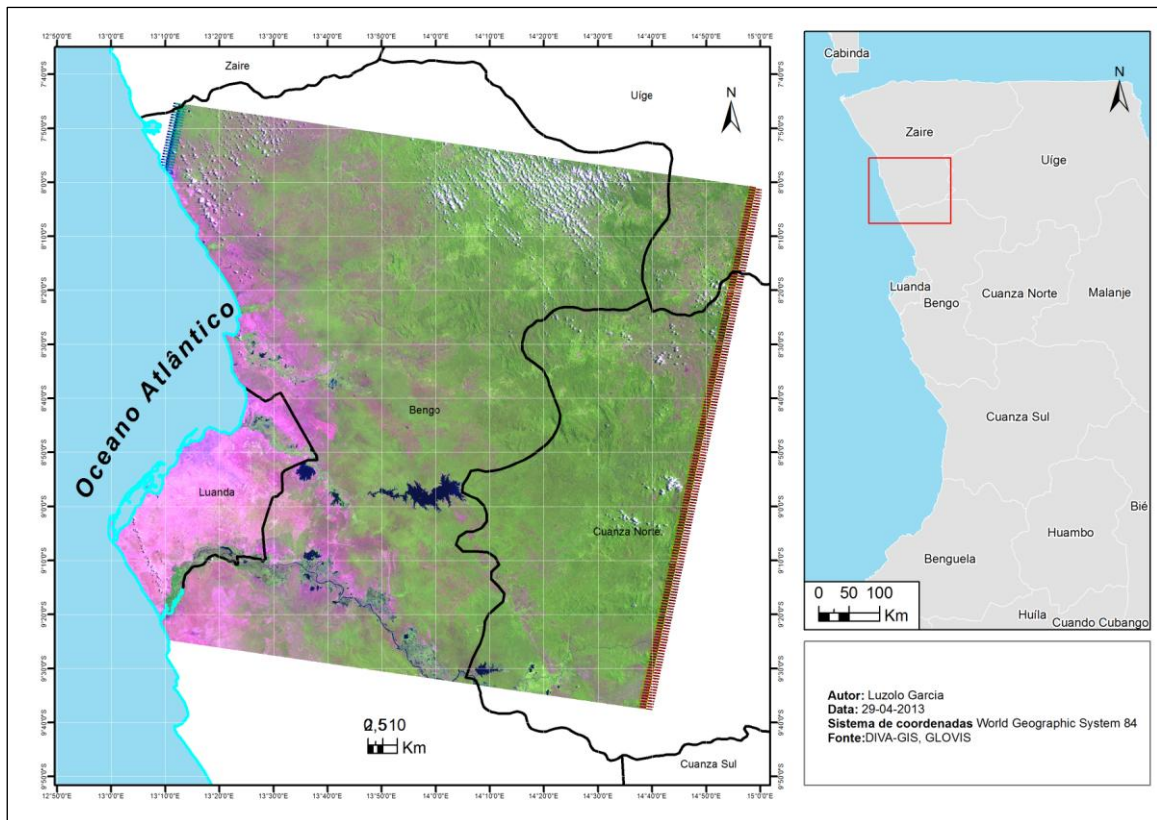


Figura 37-Composição colorida 543 RGB (Sensor TM) da área de estudo.